

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**SUBSÍDIOS PARA GESTÃO COSTEIRA DA  
DESEMBOCADURA DA LAGOA DE TRAMANDAÍ**

ANA FATIMA DA SILVA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Júnior

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Porto Alegre – 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**SUBSÍDIOS PARA GESTÃO COSTEIRA DA  
DESEMBOCADURA DA LAGOA DE TRAMANDAÍ**

ANA FATIMA DA SILVA

ORIENTADOR – Prof. Dr. Elírio Ernestino Toldo Júnior

CO-ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. – Felipe Caron - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Prof. Dr. – João Luiz Nicolodi - Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

Prof. Dr. – Norberto Olmiro Horn Filho - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Tese de Doutorado apresentada como requisito  
parcial para a obtenção do Título de Doutor em  
Ciências.

Porto Alegre – 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Silva, Ana Fátima da

Subsídios para gestão costeira da desembocadura da Lagoa de Tramandaí. / Ana Fátima da Silva. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2019.

116 f. il.

Tese (Doutorado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2019.

Orientador: Elírio Ernestino Toldo Júnior

Co-Orientador: Jair Weschenfelder

1. Canais de maré. 2. Inundação costeira. 3. Gestão costeira.  
4. Estabilização da desembocadura. I. Título.

CDU 551.468.1

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sônia Teresinha Duarte de Oliveira CRB 10/2310

**Dedicatória**

À Brunildes da Silva, minha mãe e, à Getúlio José da Silva, meu pai, por juntos darem a oportunidade do meu espírito evoluir neste Planeta.

À sábia Natureza.

Durante a escrita desta Tese  
Eu descobri que sou um grão de areia  
À deriva nesse Universo  
Hora em cima e ora em baixo  
Sozinha viajo com a fluidez das correntes  
E não posso formar muita coisa  
Mas em comunhão com outros grãos de areia  
Posso realizar uma grande transformação no Planeta  
E retrabalhar para formar a mais linda das praias: o meu coração  
E reencontrar o meu ser interno, minha alma, que é pura luz e amor.

\*\*\*\*\*

Tentar estabilizar uma linha de costa é o mesmo que tentar estabilizar as suas emoções  
Você observa cuidadosamente todos os detalhes para tentar entender a instabilidade  
E então, você percebe que há necessidade de profundidade neste estudo  
E quão mais profundo você vai  
Mais você observa o quão instável é e mais e mais variáveis aparecem.

## AGRADECIMENTOS

Tanto tempo... tão difícil resumir os agradecimentos em uma página...

Agradeço primeiramente à natureza externa que nos cerca com sua beleza e magia na qual nos faz ter curiosidade em conhecê-la e nos permite investigá-la e à natureza interna que reside em cada ser e nos impulsiona ao mais profundo mergulho interno.

Agradeço à minha mãe Brunildes da Silva que me deu uma grande força principalmente no final deste ciclo, ao meu pai Getúlio José da Silva e meus irmãos George, Karol e Patrik. Amo vocês!

Agradeço ao professor que me orientou Dr. Elírio E. Toldo Junior por seu profissionalismo, pela paciência, por sempre entusiasmar os alunos e fazer com que acreditemos que iremos conseguir. Muito grata, sempre!!!

Agradeço aos amigos que fiz durante o doutorado, em especial a Gabriela Rockett e Juliana Costi que me acolheram em suas casas durante as idas para Porto Alegre me proporcionando aconchego e alegria. Muito grata!!

Agradeço aos amigos Cláudia e Arnold pela gigantesca ajuda durante o retorno para tese, sem vocês não teria sido possível chegar até aqui!! Muito grata mesmoooo!!

Agradeço aos amigos, todos, que passaram, saíram ou permanecem em minha vida durante todos estes anos e, que nem vou começar a citar para não esquecer ninguém. Muito muito grata!!!

Aos colegas que de alguma forma auxiliaram no desenvolvimento de alguma parte deste trabalho: Guilherme V. da Silva, Pedro V. Nascimento, Rafael M. Petermann, João Henrique Quoos, Jair Weschenfelder, José C. Nunes, Robson S. Aquino, Jorge L. Rodrigues Filho, Ronaldo dos S. da Rocha, Eduardo M. Martins, Júlio F. de Oliveira, Samantha Cristiano e Inaiê Calheiros.

Agradeço à Natureza Divina pela minha vida e pela oportunidade de conhecer este Planeta Terra com o maravilhoso oceano que é aonde me sinto em casa!!!

## RESUMO

Os ambientes presentes na zona costeira estão sendo cada vez mais descaracterizados pela crescente ocupação sem a percepção, por parte da população, de que estão suscetíveis a determinados eventos extremos, como o caso das inundações costeiras. Os estudos dos aspectos morfodinâmicos de desembocaduras associados as transformações decorrentes nas praias adjacentes, se fazem necessários para desenvolver um melhor planejamento dos espaços costeiros. Esta tese fornece subsídios para gestão e conservação dos municípios de Tramandaí e Imbé, no litoral norte do Rio Grande do Sul, e está dividida em três partes. A primeira parte abrange os estudos dos fatores que controlam a estabilidade da desembocadura da Lagoa de Tramandaí, na qual foram integrados dados hidrodinâmicos, sedimentológicos e morfológicos. A metodologia utilizada consistiu de levantamento batimétrico, técnicas de geoprocessamento e cálculos das relações empíricas. Os resultados indicaram que anteriormente à obra de fixação da margem esquerda da desembocadura, o canal apresentava forte instabilidade e, que sua migração acompanhava o sentido preferencial da deriva litorânea da região, para nordeste. Após esta obra, a seção transversal mínima se apresentou constante. Na segunda parte desta tese, foi elaborado um modelo digital para observação da inundação, a partir da aquisição de dados topográficos do terreno. As cotas elaboradas foram baseadas na soma das variáveis: oscilação mareal e sub-mareal, galgamento e dados de projeções futuras da variação do nível do mar. Como resultados foram gerados mapas que auxiliaram na descrição dos locais vulneráveis à subida do nível do mar e naqueles com maior inundação. Também foi possível observar que a extensão das áreas vulneráveis tende a aumentar principalmente relacionadas com a descaracterização dos ambientes, os quais já podem ser observados atualmente. Na terceira parte da tese, foi realizado um diagnóstico dos impactos ambientais que podem ocorrer devido a instalação de obras de proteção costeira, bem como uma análise dos pontos positivos desta obra. Constata-se que, apesar do avanço das tecnologias de engenharia costeira, o conhecimento básico das questões relacionadas a dinâmica costeira locais não são sempre observadas no desenvolvimento destas instalações e, por isso causam muitas vezes o resultado inverso ao da sua motivação. Com base em modelagem (física e numérica) foi elaborado um estudo de caso para a desembocadura da Lagoa de Tramandaí onde foi possível visualizar a evolução da linha de costa após a instalação dos molhes. Esta tese contribuiu para a compreensão dos aspectos dinâmicos da desembocadura da Lagoa de Tramandaí e das praias adjacentes, Imbé e Tramandaí. Através da integração deste conhecimento com os mapas de inundação e a compreensão da evolução da linha de costa após a instalação de uma obra costeira se constata a importância de uma gestão costeira para região, que determine melhor a utilização dos espaços, bem como que seja divulgada a vulnerabilidade que as comunidades estão sujeitas.

## ABSTRACT

Coastal zone environments are becoming progressively uncharacterized by increasing occupation without the population's perception that these environments are susceptible to extreme events such as coastal flooding. Morphodynamic studies of inlets in relation to changes in adjacent beaches are necessary to develop a better planning strategies for coastal spaces. This thesis provides subsidies for management and conservation of the municipalities of Tramandaí and Imbé, on the north coast of Rio Grande do Sul. It is divided in three parts: the first part covers the studies of the factors that control the stability of the Tramandaí Lagoon inlet, in which hydrodynamic, sedimentological and morphological data were integrated. The methodology used consisted of bathymetric survey, geoprocessing techniques and calculations of empirical relations. The results indicated that prior to the work of fixing the left margin of the mouth, the channel presented strong instability, and that its migration followed the preferential direction of the net coastal drift of the region, towards the northeast. After the stabilization of the inlet, the minimum cross section remained constant. The second part of this thesis, a digital model for flood observation was elaborated based on the acquisition of topographic data from field. The water levels input in the model were based on the sum of the variables: tidal and sub-tidal oscillation, wave run-up data and data from future projections of sea level variation. As a result, maps were generated that helped in the description of places vulnerable to sea level rise and those with greater flooding risk. It was also observed that the vulnerability of the areas increases mainly where the decharacterization of coastal environments occurs, already be observable today. The third part of the thesis is an environmental impact diagnosis the installation of future coastal protection works, including an analysis of the positive aspects of this work. It is acknowledged that despite the advancement of coastal engineering technologies, the basic knowledge of the local morphodynamic is not always observed in the stages of development of coastal works and, therefore, coastal protection works often have the opposite effect as their intended motivation. Based on modelling (physical and numerical) a case study was prepared for the Tramandaí Lagoon inlet where it was possible to visualize the evolution of the shoreline after the installation of the jetties. This thesis contributed to the understanding of the dynamic aspects of the Tramandaí Lagoon inlet and the adjacent beaches, Imbé and Tramandaí. The integration of this understanding with the flood maps and understanding of the evolution of the shoreline after the installation of a coastal work, highlighted the importance of coastal management strategies for the region to better determine the use of the spaces. The results also evidenced the importance of disseminating the knowledge about the vulnerability of that areas that communities are subjected to.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Figura 1. Canal principal da desembocadura (A - B) e seus deltas associados. Fonte: Baitelli, 2011 (modificado de Davis Jr. e Fitzgerald, 2004)..	18
Figura 2. Localização da área de estudo destacada em amarelo.	24

### CAPÍTULO 2

Figura 1. Área de estudo. A) Localização das desembocaduras litorâneas no estado do Rio Grande do Sul; B) Delimitação da embocadura da Lagoa de Tramandaí, situada entre os municípios de Imbé ao norte e Tramandaí ao sul; C) Canal lagunar em destaque, onde o alinhamento ao longo da margem esquerda corresponde ao guia-corrente.....	33
Figura 2. Perfil da seção transversal mínima do canal lagunar.	37
Figura 3. Linhas representativas da posição do canal da embocadura em 1940 e 2012.....	39
Figura 4. Coleção de fotografias aéreas do canal e embocadura lagunar entre 1940 e 1967, ilustrando a mobilidade desta feição. A) Início do processo de urbanização na década de 40; E) Instalação do guia-corrente no início dos anos 60.....	40
Figura 5. Fotografias aéreas e imagens entre 1970 e 2012, onde se observa o acelerado processo de urbanização. A) Aterramento do canal abandonado; D) Reduzida mobilidade do pontal arenoso na extremidade norte da praia de Tramandaí.	41

### CAPÍTULO 3

Figura 1. Localização dos municípios de Imbé e Tramandaí, separados pelo canal lagunar da Lagoa de Tramandaí e a delimitação das áreas 1 a 4.....	54
Figura 2. Imagem ilustrando elevação do nível do mar em 2,07 m. As cores representam o nível de inundação (m) nos pontos (método GNSS) e manchas (buffer) (método LIDAR). ...	60
Figura 3. Imagem ilustrando elevação do nível do mar em 2,41 m. As cores representam o nível de inundação (m) nos pontos (método GNSS) e manchas (buffer) (método LIDAR). ...	61
Figura 4. Imagem ilustrando elevação do nível do mar em 3,35 m. As cores representam o nível de inundação (m) nos pontos (método GNSS) e manchas (buffer) (método LIDAR). ...	63
Figura 5. Imagem ilustrando elevação do nível do mar em 4,33 m. As cores representam o nível de inundação (m) nos pontos (método GNSS) e manchas (buffer) (método LIDAR). ...	64
Figura 6. Box-Plot dos valores das cotas de inundação (CI) nos diferentes cenários modelados para os municípios de Imbé (Imb.) e Tramandaí (Tra.).	65

### CAPÍTULO 4

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	85
Figura 2. Projeção dos molhes retos e paralelos (modelo físico reduzido E5.4) e seus efeitos na linha de costa.....	94
Figura 3. Projeção dos molhes convergente (modelo físico reduzido E5.10) e seus efeitos na linha de costa.....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores utilizados para obtenção das cotas de inundação (* De acordo com IPCC (2013). ** De acordo com Guimarães et al. 2015) .....	58
Tabela 2. Diferentes tipos de molhes elaborados no modelo físico reduzido. ....	88

## Sumário

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
Estrutura da Tese .....	12
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO .....	13
1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 Estado da arte .....	16
1.1.1 Zona costeira .....	16
1.1.2 Desembocaduras.....	17
1.1.3. Inundações costeiras.....	19
1.1.4 Obras costeiras.....	22
1.2 Área de estudo.....	23
1.3 Premissas e hipóteses .....	25
1.4 Objetivo Geral da Tese.....	26
1.4.1 Objetivos Específicos.....	26
CAPÍTULO 2 .....	27
Artigo 1. Morfodinâmica da embocadura da Lagoa de Tramandaí (RS, Brasil). .....	27
Capítulo 3 .....	48
Artigo 2. Inundação Costeira por Elevação do Nível do Mar em Imbé e Tramandaí - RS.....	48
Capítulo 4 .....	79
Artigo 3. Estabilização do canal da embocadura da Lagoa de Tramandaí (RS, Brasil). .....	79
Capítulo 5 .....	105
Considerações Finais .....	105
5.1 Síntese Integradora .....	106
5.2 Recomendações para trabalhos futuros .....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111

## Estrutura da Tese

Esta tese de Doutorado está estruturada em torno dos artigos científicos escritos pela autora, os quais foram publicados/submetidos em periódicos com corpo editorial permanente e revisores independentes. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

a) Capítulo 1. Introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de Doutorado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvidos e o estado da arte sobre o tema de pesquisa (apresentada anteriormente);

b) Capítulo 2. Artigo publicado na Revista Pesquisas em Geociências:

SILVA, A. F.; TOLDO JR, E. E.; WESHENFELDER, J. **Morfodinâmica da embocadura da Lagoa de Tramandaí (RS, Brasil)**. Pesquisas em Geociências, vol. 44, n. 1, 2017, pp. 155-166.

c) Capítulo 3. Artigo submetido (em avaliação) para a Revista Brasileira de Cartografia:

SILVA, A. F.; TOLDO JR, E. E.; ROOIJEN, A. V.; ABREU, C. F.; RODRIGUES FILHO, J. L.; ROCHA, R. S.; AQUINO, R. S. **Inundação Costeira por Elevação do Nível do Mar em Imbé e Tramandaí - RS**.

d) Capítulo 4. Artigo submetido (em avaliação) para a Revista de Gestão Costeira Integrada:

SILVA, A. F.; TOLDO JR, E. E. **Estabilização do canal da embocadura da Lagoa de Tramandaí (RS, Brasil)**.

e) Capítulo 5. Considerações finais.

## **CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO**

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a procura por se viver na zona costeira cresce de forma exponencial, principalmente associada à beleza de seus ecossistemas e, de certa maneira, por oferecer um modo de vida “mais tranquilo”. Essa crescente densidade populacional transforma sua beleza em um conturbado cenário de desenvolvimento desorganizado, em uma urbanização exposta a determinados perigos costeiros, como a inundação, e ainda sem uma gestão apropriada dos espaços e dos recursos naturais.

A zona costeira é um ambiente dinâmico, que pode se transformar de uma maneira considerável em apenas poucas horas, ou seja, uma região que sofre pressão de todos os lados, de forma natural ou antrópica. Um ambiente propenso à dinâmica das ondas, marés, ventos, correntes, desembocaduras lagunares e fluviais, sangradouros e, também, ao escoamento de água de chuva, esgoto, urbanização, etc.

Já se sabe que tudo o que ocorre na natureza está interligado de alguma forma, ou seja, uma ação antrópica em um local específico, como por exemplo, uma desembocadura lagunar, vai provocar, de certo modo, transformações nas praias adjacentes e, se conhecermos algumas variáveis que controlam seu funcionamento (correntes, ondas, transporte sedimentar), caso aja algum problema, será mais fácil a tomada de decisões para sua resolução.

Os estudos das mudanças nestes ambientes costeiros, que apresentam elevada importância ecológica (biodiversidade) e econômica (turismo, pesca, navegação), se fazem necessários para sabermos, por exemplo, quais as consequências das inundações costeiras (erosão, perda de habitats, intrusão de água salgada), e dos impactos por estruturas antrópicas (principalmente molhes) (Rosati e Kraus, 2009).

Para se atuar de maneira eficiente na zona costeira é necessário um adequado conhecimento geral deste sistema para embasar e concretizar a futura gestão costeira integrada somada com a ação conjunta de todos os atores que utilizam a zona costeira, desde os órgãos governamentais, instituições de ensino, comunidades, empresas privadas até usuários.

A atividade de monitoramento dos parâmetros oceanográficos, para se conhecer a zona costeira, tem um caráter fundamental por possibilitar variados usos após o processamento dos dados.

Através de um monitoramento contínuo ao longo do tempo, de propriedades meteorológicas (vento, pressão atmosférica, precipitação, etc) e oceanográficas (ondas, marés, correntes, temperatura, etc), se pode obter informações ambientais para estudos de impactos de mudanças climáticas, como alterações no nível do mar, e com isso se evitar desastres naturais, tais como as inundações costeiras (SIMCOSTA, 2015).

A coleta destes dados possibilita uma melhor previsão meteorológica marinha auxiliando as atividades de navegação, seja profissional ou de lazer. Também, para fins de engenharia costeira, portuária e oceânica; para previsão das ondas e conseqüentemente auxiliar na determinação de taxas de erosão e acumulação sedimentar; para o conhecimento das correntes costeiras com a finalidade de implantação de estruturas como molhes; para modelagens de cenários climáticos causados por efeitos naturais e antrópicos (SIMCOSTA, 2015). Além, dos dados poderem ser utilizados para aplicação na produção de organismos; na indústria do petróleo e na mineração marinha.

O conhecimento dos padrões de parâmetros como ondas são usados na engenharia costeira, na determinação de eventos atmosféricos extremos, na classificação morfodinâmica de praias e para estudos de variações da linha de costa (Raji *et al.*, 2011). Ao analisar estes parâmetros, se pode identificar padrões de erosão, por exemplo, quando as ondas se apresentam mais energéticas e esbeltas por impossibilitar a sedimentação dos grãos (Gagliardi, 2013).

Considerando-se que as transformações causadas pelas variáveis responsáveis pela morfodinâmica da desembocadura da Lagoa de Tramandaí podem afetar as praias adjacentes e influenciar os meios naturais e urbanos, se torna evidente o valor do conhecimento destas variáveis para fornecer subsídios aos órgãos ambientais responsáveis pelo gerenciamento costeiro na definição quanto à utilização do seu entorno.

Na presente tese, os parâmetros oceanográficos e meteorológicos foram de fundamental importância para o desenvolvimento de todos os estudos aqui apresentados, sendo utilizados para diferentes finalidades e objetivos, demonstrando as diversas aplicações: compreensão da migração das desembocaduras, das inundações costeiras e da evolução da linha de costa. Assim, contribuindo com dados para a possibilidade de melhorar as bases legais dos municípios, Imbé e Tramandaí, e através disto auxiliar em tomadas de decisões mais acertadas e em um manejo da zona costeira mais adequado.

## 1.1 Estado da arte

### 1.1.1 Zona costeira

No Brasil, a zona costeira é legalmente definida como o espaço geográfico de interação do ar, mar e terra, delimitada em uma faixa marítima de 12 milhas náuticas de largura (mar territorial) e uma faixa terrestre continental correspondente aos municípios que sofrem influência direta dos fenômenos ocorrentes na Zona Costeira (Brasil, 1988). Cerca de 60% da população brasileira reside nas áreas costeiras (PBMC, 2016) e, 19% da população que vive no litoral norte do RS residem nos municípios costeiros de Imbé e Tramandaí (IBGE, 2018). Dentre as principais atividades econômicas ou tipos de ocupação da zona costeira, Neves e Muehe (2008) citam portos, exploração de recursos minerais, turismo, aquicultura e áreas de conservação ou de proteção ambiental, além de moradia.

A zona costeira é particularmente sensível a mudanças climáticas devido a influência exercida pelos agentes oceânicos, atmosféricos e continentais. Em meio a alguns exemplos de situações críticas que ocorrem nesta zona, estão as alterações na intensidade, na distribuição espacial ou na climatologia de ventos, os quais afetam os esforços sobre as estruturas portuárias, trazem impactos sobre construções urbanas e mobilizam sedimentos de dunas (Neves e Muehe, 2008).

Dentre os ecossistemas presentes na zona costeira, e que possuem elevada importância ecológica e econômica, podem ser citados: lagoas costeiras, lagunas, estuários, dunas, praias, desembocaduras, manguezais, entre outros. Mesmo sendo reconhecida como área de patrimônio nacional, se percebe um certo descaso com a zona costeira O que se observa conjuntamente é uma intensa transformação que este ambiente vem sofrendo. No Brasil a tentativa de gestão das zonas costeiras iniciou na década de 1970 (Scherer *et al.*, 2009). A partir de 1988 a lei n. 7.661 instituiu o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) sendo regulamentada em 2004 pelo Decreto n. 5.300.

No entanto, apesar de toda esta base legal, a gestão costeira nacional é ainda bastante incipiente (Scherer *et al.*, 2009). Segundo os autores a ausência, de fato, da execução das ações propostas para uma melhor gestão ambiental da costa, tem promovido a perpetuação de atividades não sustentáveis e a perda gradativa de seus recursos e serviços ambientais.



Alguns locais, como Marrocos, as leis aplicadas à zona costeira são historicamente incidental e ainda insuficiente (Idllalène, 2009), mas igual ao Brasil, a “litorização” cresce de forma exponencial devido a pressão do setor imobiliário e da débil vontade política, já que a zona costeira é vista principalmente como oportunidade de desenvolvimento (Idllalène e Cauwenbergh, 2016). É visível em todo litoral brasileiro a histórica falta de interesse em proteger a área costeira, pelo menos por algumas partes interessadas poderosas.

O Gerenciamento Costeiro Integrado (GCI) surgiu como uma estratégia para resolução de múltiplos conflitos (Barragán, 2016) é “um processo dinâmico para a gestão sustentável e utilização das zonas costeiras, tendo em conta ao mesmo tempo a fragilidade dos ecossistemas e paisagens costeiras, a diversidade de atividades e usa, suas interações (Idllalène, 2009), Dentre os objetivos do GCI, destacam-se a preservação e a proteção da produtividade e da biodiversidade dos ecossistemas, o reforço à gestão integrada por meio de medidas legais, a capacitação e formação de pessoal e a promoção do uso racional e sustentável dos recursos marinhos (Asmus *et al.*, 2006).

### 1.1.2 Desembocaduras

Segundo Davis Jr. e Fitzgerald (2004), as desembocaduras ou canais de maré (*tidal inlets*) são a abertura na linha de costa onde as águas do continente e do oceano se encontram, isto é, a conexão entre o oceano e baías, lagunas, banhados e sistemas de canais de maré, compreendendo um canal principal e os corpos sedimentares associados (deltas de maré enchente e vazante, bancos arenosos) (Hayes, 1980) (Figura 1), que se constituem em importantes reservatórios temporários e permanentes de sedimentos e influenciam na distribuição da energia incidente das ondas (Fitzgerald, 1988).

Os sedimentos que são carregados para dentro da baía pela maré de enchente ou por tempestades formam um ou mais deltas de maré de enchente, e os sedimentos transportados em direção ao mar pela maré de vazante formam os deltas de maré de vazante (*ebb tidal delta*) (Fitzgerald, 1996). Os deltas de maré de vazante possuem características topográficas positivas que se situam no topo da antepraia sendo formados pelos sedimentos transportados em direção ao mar pela corrente de maré de vazante. As ondas e a corrente de maré de enchente modificam esta feição (Fitzgerald *et al.*, 2004).

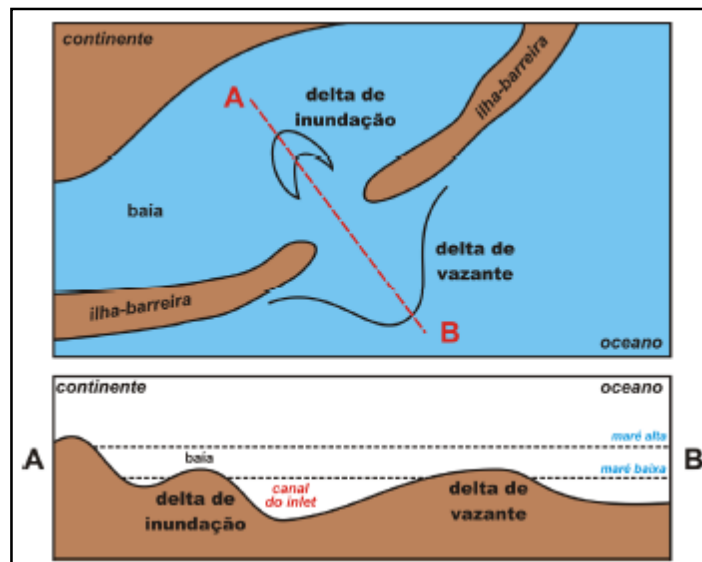


Figura 1. Canal principal da desembocadura (A - B) e seus deltas associados. Fonte: Baitelli, 2011 (modificado de Davis Jr. e Fitzgerald, 2004).

O delta de maré enchente (*flood tidal delta*) é formado pelas correntes de maré de enchente que transportam e depositam sedimentos do canal principal em forma de bancos no interior da desembocadura. Sua presença ou ausência, seu tamanho e desenvolvimento estão relacionados à variação da maré, energia de onda, suprimento de sedimento e barreira. Os deltas de maré de enchente são vistos, principalmente, em ambiente de meso e macro maré, onde são expostos durante a maré baixa (Davis Jr. e Fitzgerald, 2004).

Frequentemente os lados de um canal de maré são formados por esporões recurvados, constituídos de sedimento arenoso proveniente de transporte ao longo da costa por refração de ondas e correntes de marés. A região mais profunda de uma desembocadura é onde ocorre a maior aproximação entre os esporões arenosos, onde o canal possui a menor largura e a corrente atinge sua maior velocidade (Davis Jr. e Fitzgerald, 2004).

Os fatores que controlam o equilíbrio de uma desembocadura são a circulação gerada pela maré, que tende a limpar o canal, e a deriva litorânea de sedimentos, que tende a bloquear o canal pela deposição sedimentar na sua porção oceânica (Bruun e Gerritsen, 1960). Assim, dependendo do ciclo de maré, esse sedimento é levado em direção ao mar e/ou em direção à parte interna do canal (Fitzgerald, 2005).

Os canais irão migrar ou permanecer em uma determinada posição dependendo das complexas interações entre o prisma de maré, energia de ondas e disponibilidade de sedimentos (USACE/CERC, 2002), juntamente com os efeitos de tempestades (Davis Jr. e Fitzgerald, 2004) e descarga fluvial (Siegle *et al.*, 2004).

O prisma de maré de uma desembocadura representa o volume de água que flui para dentro ou para fora dela em resposta a flutuações das marés. Este volume é obviamente uma característica muito importante, uma vez que pode ser relacionado com a entrada de salinidade, circulação na laguna, lavagem e estabilidade do canal (Truitt, 1992). Segundo o autor, o cálculo ou estimativa de um prisma de maré geralmente pressupõe que a força de condução da água é a diferença de elevação entre a maré em ambos os lados do canal e que o nível da baía se eleva uniformemente.

Tanto um ambiente natural, como uma desembocadura, quanto uma obra de engenharia costeira, servirão como barreira ao movimento livre dos sedimentos arenosos, influenciando o balanço sedimentar das regiões costeiras, afetando a variação da linha de costa e a estabilidade das praias adjacentes a desembocadura, podendo conjuntamente alterar o valor do prisma de maré (Seabergh e Kraus, 2003).

### **1.1.3. Inundações costeiras**

A princípio, se conhece a inundação costeira como sendo simplesmente a costa inundada pelas águas do mar, quando ultrapassa as dunas ou as estruturas construídas à beira mar. Na maioria das vezes isto ocorre associada com as tempestades induzidas por eventos de condições meteorológicas extremas (Aerts *et al.*, 2014).

Além da interação entre os elementos (nível de maré, batimetria, *swell* e *run-up*), o fenômeno de inundação oferece a complicação adicional de que alguns fatores (ondas e ventos) devido ao seu comportamento aleatório, não são facilmente previstos; portanto, seus efeitos estão relacionados a uma dada probabilidade de ocorrência (Bonetti *et al.*, 2017). Também, a inundação pode ocorrer por elevação do nível do mar (ENM) devido as mudanças climáticas

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) já alertava na década de 1990 que o aumento acelerado do nível do mar devido às mudanças climáticas causadas pelos gases do efeito estufa, poderiam provocar impactos nas populações e ecossistemas costeiros (Bijlsma *et al.*, 1996). Como atualmente as emissões de CO<sub>2</sub> continuam a aumentar, parece lógico que uma quantidade significativa de ENM devido à expansão térmica dos oceanos seria inevitável, a menos que ações significativas sejam tomadas pela comunidade para reduzir as emissões (Bettencourt *et al.*, 2009).

O risco de inundação devido à ENM é um problema global e afeta aproximadamente 10% da população da Terra, pois cerca de 700 milhões de pessoas vivem em áreas costeiras baixas (McGranahan *et al.*, 2007).

Com o rápido crescimento econômico esta exposição ao risco de inundações aumenta (Wadey *et al.*, 2015), principalmente nas áreas de planície costeira nos países em desenvolvimento, devido a maior exposição a condições de maré alta e tempestades, adicionado à redução da eficácia dos sistemas de drenagem durante eventos de chuvas fortes (Nicholls *et al.*, 1995; Wdowinski *et al.*, 2016). E ainda, para piorar a situação, a subsidência, que pode criar uma inclinação adversa nos sistemas de esgotos que descarregam no mar, que poderia introduzir ainda mais a água do mar em áreas urbanas (Bettencourt *et al.*, 2009).

Com o resultado da ENM ocorreria uma transformação nos locais costeiros e uma reorganização dos ambientes estando relacionada com a transladação da linha de costa em função de trocas sedimentares transversais entre a região emersa da barreira, incluindo dunas frontais e áreas posteriores e o limite inferior da antepraia (Bruun, 1988), além de trocas longitudinais que influenciariam o balanço sedimentar costeiro no setor como um todo (Germany *et al.*, 2015).

Visto que entre 0,2 e 4,6% da população global pode ser inundada anualmente em 2100 com cenários de média global de ENM de 0,25 e 1,23 m (Hinkel *et al.*, 2014), novas abordagens e adaptações são necessárias, assim procurando reduzir os impactos, já que a mudança de comportamento das pessoas não está mantendo o ritmo com as mudanças ambientais (Wadey *et al.*, 2015).

O IPCC define a adaptação às alterações climáticas como o ajustamento dos sistemas naturais ou humanos para moderar o dano em resposta ao clima e seus efeitos (Nicholls *et al.*, 2007). Associado à adaptação, se observa a necessidade de mudanças na legislação ambiental que limitem os espaços vulneráveis a ENM e clarifique as responsabilidades nesta área, com a adoção estratégica de GCI integrados com programas de pesquisa que promovam a aquisição de dados oceanográficos, indicadores de maré e mapas topográficos e batimétricos (Idallène e Cawvenbergh, 2016).

Novas metodologias estão sendo desenvolvidas e empregadas para se ter conhecimento sobre a inundação costeira, de uma maneira em geral e, também, para informar a população e auxiliar os órgãos ambientais. As modelagens desenvolvidas seguem os modelos hidrodinâmicos e “banheira”.

A técnica da “banheira” é um método simples que requer apenas o uso de um Modelo de Elevação (DEM) representando o terreno da área de interesse (Cooper *et al.*, 2013; Gallien *et al.*, 2014), onde as áreas vulneráveis a inundações são encontradas usando um cálculo simples para determinar áreas de menor altitude do que inundações em algum nível. Dados de *runup* e *overtopping* são centrais para os esforços de mapeamento de inundação (Gallien *et al.*, 2014) e são utilizados em diversos tipos de modelagens.

Atualmente em alguns locais se opta por divulgar os resultados das modelagens para comunidade e órgãos ambientais com a intenção de que, através das visualizações, ambos possam se engajar e que essas informações sejam convertidas em ações úteis de gestão costeira para mitigação de inundações com uma visão sustentável para o futuro (Demir e Krajewski, 2013). Assim, ao se divulgar os resultados de modelagem de inundação para a comunidade, esta fica sabendo como se preparar para eventos extremos de risco costeiro e ENM, também como a subida do NM irá alterar as inundações costeiras (Demir e Krajewski, 2013; Wadey *et al.*, 2015).

Outra futura solução que se sugere é que a engenharia de proteção costeira relacionadas a ENM se baseie em projeções regionais de taxa SLR e não apenas nas projeções globais comumente usadas (Nicholls e Cazenave, 2010).

Em face as possibilidades de inundações, também os ecossistemas presentes na zona costeira estarão sujeitos a essas mudanças e com isso podem ocorrer transformações no seu importante papel desempenhado como defesa costeira, como os manguezais (Kraus *et al.*, 2009), os recifes (Lowe *et al.*, 2005) as bermas (Gallien *et al.*, 2014) e as dunas (Sallenger, 2000), que retardam o fluxo de água, por sua vez, reduzindo a energia das ondas e tempestades (Cochard, 2013).

Mesmo diante da diversidade de estudos sobre a zona costeira e as possíveis futuras inundações é notável que os governos, em geral, possuem uma dupla percepção da gestão e vulnerabilidade costeira, pois autorizam uma grande expansão do turismo, inclusive em áreas vulneráveis (Nicolodi e Petermann, 2010). Com a percepção de que a legislação que reduz a construção em áreas propensas a inundações pode estar em conflito com o crescente desejo de desenvolver os locais, uma legislação que incorpore o aumento do NM a longo prazo, já é sugerida para futura gestão das zonas costeiras (Flor-Blanco *et al.*, 2015; Ruiz-Ramírez *et al.*, 2019).

#### 1.1.4 Obras costeiras

A orla costeira apresenta uma dinâmica natural complexa, que nem sempre é compatível com os usos a que está sujeita. A sua intensa ocupação e pressão antrópica a tornam cada vez mais vulnerável à ação de fatores naturais (tempestades, subida do nível médio do mar) e, também, à própria ação do homem (redução de fontes sedimentares, dragagens, destruição de sistemas dunares, introdução de fontes de poluição). Como consequência, se observa fenômenos com graves riscos associados, como a erosão costeira, o assoreamento de embocaduras de estuários e de lagunas e a poluição de zonas sensíveis (Fortunato *et al.*, 2008).

Para se redimir os efeitos de erosão costeira algumas obras são realizadas na linha de costa. A engenharia costeira se refere a qualquer método de alteração do sistema natural da linha de costa para estabilizá-la. Os métodos de estabilização das linhas de costa variam desde o simples plantio de vegetação de duna até a complexa colocação de grandes estruturas como paredões de concreto, cujos benefícios de tais métodos geralmente são de curta duração. Localmente, a engenharia costeira pode, na verdade, causar o recuo da linha costeira. A erosão da praia causada pelo homem pode ser maior e mais espetacular do que a da própria natureza (Cornell *et al.*, 2019).

As linhas costeiras são estabilizadas das mais variadas formas e o que mais se observa são o engordamento de praia, os molhes e espigões e os paredões. Um molhe é construído, em geral, para fixar um canal com a finalidade da navegação, assim, as extremidades do canal ficam impedidas de migrar (Kraus, 2009).

O conhecimento de aspectos como a deriva litorânea, a quantificação do transporte longitudinal, a energia das ondas e o prisma de maré são extremamente importantes para realizar a gestão e o planejamento de obras na zona costeira.

Os impactos ambientais que estas obras causam na movimentação dos sedimentos na zona litorânea necessitam ser estudados ao longo de sua projeção, execução e após a instalação, principalmente em locais urbanizados. Por estes motivos, muitos estudos na engenharia e nas ciências costeiras têm sido feitos sobre as desembocaduras, relacionados à sua migração e modificações nas regiões adjacentes, sua estabilização para navegação e sua influência quando da ocorrência de inundações, etc.

A estabilização de canais de maré, canais de acesso e estruturas de abrigo a portos ou terminais marítimos e a construção de espigões são obras de engenharia que desequilibram o balanço sedimentar e podem agravar os problemas de erosão

costeira (Neves e Muehe, 2008). Segundo os autores, no passado, muitas vezes, a concepção das obras costeiras no Brasil, não considerava o equilíbrio morfológico da costa em sentido mais amplo e as soluções técnicas dos problemas, embora conhecidas, não eram implementadas.

As estruturas perpendiculares à costa retêm os sedimentos a barlar e conseqüentemente aumentam a erosão a sotamar. Quando a acumulação a barlar chega ao limite, preenchendo o comprimento do espigão, e se este for longo, poderá haver fuga de sedimentos, sedimentando-se em zonas profundas onde dificilmente serão reintegradas na deriva litorânea (Dias, 2005). Também, as obras costeiras podem vir a sofrer eventos de galgamento causando elevado impacto na integridade da estrutura e na segurança da zona por ela protegida (Bairrão *et al.*, 2016).

A deriva litorânea pode influenciar o desenvolvimento de desembocaduras diretamente pelos depósitos nas encostas laterais da parte exterior do canal influenciando sua forma e indiretamente pelo fornecimento de material para o fluxo, podendo causar um aumento do transporte sedimentar (Bruun e Gerritsen, 1960).

Por outro lado, as obras costeiras beneficiam a população que se encontra defronte ou próximo a linha de costa, principalmente no quesito segurança, pois irão proteger diretamente a costa e conseqüentemente as estruturas antrópicas.

## 1.2 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na porção nordeste da planície costeira do Rio Grande do Sul (RS) e compreende uma faixa de praia oceânica no litoral norte do estado, entre os municípios de Imbé e Tramandaí (29°58'S; 50°7'W e 29°59'S; 50°7'30"W (Figura 2), e apresenta uma desembocadura lagunar que serve como divisor político entre os dois municípios. Em 1960, ocorreu a estabilização da embocadura por um guia-corrente, ao longo da sua margem esquerda (Silva *et al.*, 2017).

A praia de Tramandaí foi classificada como dissipativa, plana e com ampla faixa de areia e, a praia de Imbé apresentou estágio morfodinâmico intermediário a dissipativo, com baixa variabilidade temporal (Toldo *et al.*, 1993).

Ambos os municípios apresentam elevada concentração urbana próxima as praias e desembocadura. Guimarães *et al.* (2015), com base em dados de eventos hidrodinâmicos extremos, informaram a suscetibilidade da área quanto ao risco de inundação sobre as estruturas naturais e urbanas. Além disso, Tramandaí recebe

grande parte do petróleo (que abastece refinarias da região) por meio de monoboias localizadas a 6 km de distância da costa.

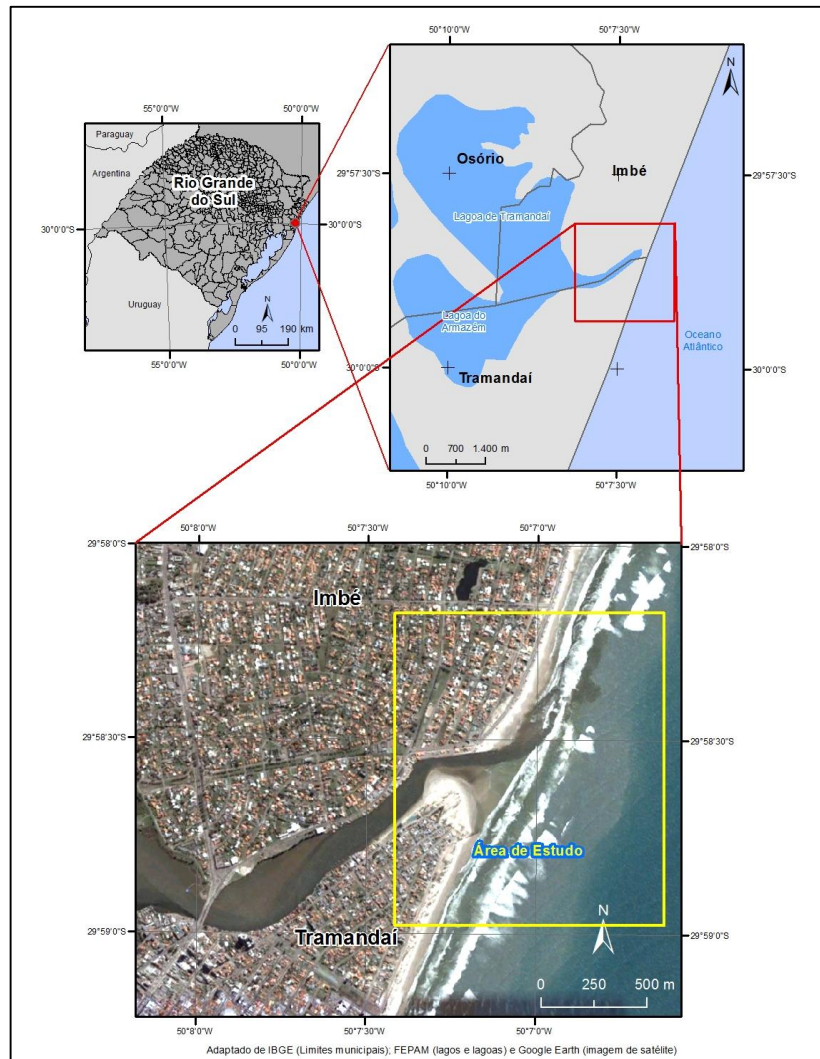


Figura 2. Localização da área de estudo destacada em amarelo.

A planície costeira do RS (PCRS) é uma extensa e diversificada faixa ambiental que se alonga na direção sudoeste-nordeste (SW-NE) com aproximadamente 620 km e largura média de 60-70 km na sua porção centro-sul e de 15-20 km na sua porção norte (Weschenfelder, 1996). Apresenta depósitos arenosos de origem praiar, lagunar e eólico (Villwock e Martins, 1972), sendo que, na área de estudo, a granulometria se caracteriza como areia fina a muito fina na praia (Weschenfelder, 1996) e antepraia (Gruber e Nicolodi, 1998).

Ao longo da extensão da PCRS existem cinco desembocaduras, com características diferentes quanto à fixação, extensão e corpo aquoso. Em frente a desembocadura de Tramandaí, há formação de barras arenosas devido às tendências



opostas do transporte litorâneo e dos escoamentos fluviais, que fornecem sedimentos para praia situada à sotamar sendo carregados pelo transporte litorâneo (Motta, 1967).

A Plataforma Continental tem largura de 150 a 200 km, com profundidades máximas variando entre 100 e 140 m e suave declividade de 0,5 a 1,5 m/km (Martins e Corrêa, 1996). A antepraia é extensa e rasa com limite externo entre as profundidades de 10 e 15 m (Toldo *et al.*, 2003).

No litoral em estudo, a maré astronômica é semidiurna com uma amplitude média de 0,25 m podendo alcançar 1,20 m durante uma maré meteorológica (Almeida *et al.*, 1997). A profundidade de fechamento foi estimada em 7,5 m, calculada a partir de dois conjuntos de dados de onda adquiridos nos anos 1963 e 1996 na costa norte do estado (Almeida *et al.*, 1999). As ondulações que incidem na região são geradas no Oceano Atlântico Sul, e as vagas são geradas por fortes ventos locais, provenientes de NE, que predominam na primavera e no verão. Em geral, as ondas apresentam altura significativa de 1,5 m, com período entre 7 s e 9 s (Almeida *et al.*, 1997). No entanto, durante eventos de tempestade (S-SE), uma altura de onda em águas rasas pode exceder 2,5 m com período de 14 s (Guimarães *et al.*, 2014). O *runup* calculado para a região através de modelagem matemática chegou ao alcance de 2,19 m (Guimarães *et al.*, 2015).

### 1.3 Premissas e hipóteses

Esta Tese se baseia na premissa de que para que ocorra um Plano de Gestão Costeira eficiente é necessário que se conheça o comportamento da dinâmica dos ecossistemas presentes na zona costeira, inclusive as desembocaduras lagunares. Ainda, tem como premissa que todas as ações que ocorrem em um destes ambientes resultará em transformações nos locais adjacentes aos mesmos.

As seguintes hipóteses foram levantadas para o desenvolvimento desta tese:

1 A reduzida profundidade da seção mínima do canal lagunar e a exposição da desembocadura às elevadas taxas de fluxo da energia das ondas favorecem a sua mobilidade e sua migração lateral.

2 Os eventos astronômicos de elevações do nível do mar (oscilação mareal) podem ser amplificados durante as tempestades (oscilação sub-mareal), e na face da praia a adição do processo de galgamento pode induzir a uma sobre-elevação total do nível d'água com capacidade de gerar a inundação costeira.

3 A instalação de obras de engenharia costeira para regularização do canal de navegação causam impactos que podem afetar a desembocadura da Lagoa de Tramandaí e a mobilidade das praias adjacentes, os quais necessitam ser avaliados num contexto de gestão costeira para manter o equilíbrio de todo o sistema praiar.

#### **1.4 Objetivo Geral da Tese**

Analisar de forma integrada os aspectos morfodinâmicos da embocadura da Lagoa de Tramandaí e das praias adjacentes como subsídio ao gerenciamento costeiro.

##### **1.4.1 Objetivos Específicos**

- 1 Identificar a morfometria do canal lagunar da Lagoa de Tramandaí;
- 2 Apresentar o histórico da migração do canal da embocadura nos últimos 80 anos;
- 3 Discutir as relações de estabilidade da embocadura da Lagoa de Tramandaí;
- 4 Avaliar as técnicas de levantamento topográfico para fins de mapeamento da inundação costeira;
- 5 Quantificar as cotas de inundação costeira para os municípios de Tramandaí e Imbé;
- 6 Analisar a inundação costeira nas praias adjacentes à desembocadura lagunar;
- 7 Demonstrar a variação da linha de costa após a instalação dos molhes, a partir de modelagem física e numérica;
- 8 Realizar o levantamento dos prós e contras da instalação de uma estrutura de proteção costeira.

## **CAPÍTULO 2**

### **Artigo 1. Morfodinâmica da embocadura da Lagoa de Tramandaí (RS, Brasil).**

Este capítulo apresenta o conteúdo do primeiro artigo que compõe esta tese e foi publicado na Revista *Pesquisas em Geociências* em jan./abr.:2016.

O conteúdo apresentado a seguir segue na íntegra o publicado na revista, mudando apenas a formatação do texto. A carta de aceite das revisões realizadas é apresentada na próxima página.

27/04/2019

Gmail - Pesquisas em Geociências



Ana Silva &lt;ana.oceano@gmail.com&gt;

---

**Pesquisas em Geociências**

---

**Paulo Alves de Souza** <paulo.alves.souza@ufrgs.br>

28 de outubro de 2017 17:12

Para: ana.oceano@gmail.com

Cc: "Elírio E. Toldo Jr." &lt;toldo@ufrgs.br&gt;, jair.weschenfelder@ufrgs.br

Prezados autores

Tenho o prazer de informar a publicação de vosso artigo no último número de *Pesquisas em Geociências*: vol. 44, n. 2, maio-ago. 2017.

<http://www.ufrgs.br/geo/pesquisas/44-2.html>

Caso haja algum problema, por favor comunicar.

Nossa revista está à disposição para outras contribuições de seu grupo de pesquisa.

Atenciosamente

---

*Dear authors*

*I am pleased to report the publication of your paper in the last number of the *Pesquisas em Geociências*: vol. 44, n. 2, may-ago. 2017.*

<http://www.ufrgs.br/geo/pesquisas/44-2.html>

Let us know in case there is any problem.

*Our journal is available to other forthcoming contributions of your research group.*

*Best regards*

---

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

*Pesquisas em Geociências*

**Editor Chefe**

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

[Av. Bento Gonçalves, 9500](#)

91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil

55.51.3308.7386

<http://lattes.cnpq.br/9796270259559427>

[www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br](http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

## MORFODINÂMICA DA EMBOCADURA DA LAGOA DE TRAMANDAÍ (RS, BRASIL).

## MORPHODYNAMICS OF THE TRAMANDAÍ LAGOON INLET (RS, BRAZIL).

Ana Fatima da SILVA<sup>1</sup>, Elírio E. TOLDO JR.<sup>2</sup> e Jair WESCHENFELDER<sup>2</sup>

(1) Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: [ana.oceano@gmail.com](mailto:ana.oceano@gmail.com)

(2) Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Campus Agronomia, Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: [toldo@ufrgs.br](mailto:toldo@ufrgs.br); [jair.weschenfelder@ufrgs.br](mailto:jair.weschenfelder@ufrgs.br)

**Resumo.** A comunicação de corpos lagunares quando separados do oceano por um sistema deposicional tipo ilha-barreira, ocorre através de canais de maré (*tidal inlets*), os quais constituem-se em importantes feições na troca de sedimentos. A morfodinâmica deste ambiente é controlada por uma série de variáveis (prisma de maré, geometria do canal, etc.) e a interação entre estas podem provocar uma modificação em sua posição geográfica. O conhecimento dos fatores que controlam sua estabilidade é de extrema relevância para gerenciar a costa e conservar o ambiente lagunar. Neste trabalho foi analisada a estabilidade da desembocadura da Lagoa de Tramandaí, com base em dados hidrodinâmicos, sedimentológicos e morfológicos integrados em uma análise espaço-temporal. A embocadura desta laguna está localizada entre as praias de Tramandaí e Imbé e encontra-se fixada com apenas uma estrutura tipo guia-corrente ao longo da margem esquerda. A metodologia utilizada consistiu de levantamento batimétrico, técnicas de geoprocessamento e cálculos das relações empíricas. Os dados obtidos permitiram observar que anteriormente à fixação da margem esquerda do canal a migração da desembocadura acompanhava a direção preferencial da deriva litorânea, para NE. Após a obra do guia-corrente, a seção transversal mínima foi fixada e não existem registros de assoreamento. A análise das relações de estabilidade física, anteriores a obra de fixação, da embocadura permitiu concluir que o canal apresentava forte instabilidade.

**Palavras-chave.** Canais de maré, prisma de maré, estabilidade do canal.

**Abstract.** When a lagoon system is separated from the ocean by a depositional environment, such as a barrier island, their communication with the ocean is done via tidal inlets. Tidal inlets constitute important features of sediment exchange. The morphodynamics of this type of environment is controlled by a series of variables, such as tidal prism and channel geometry, amongst others. The interactions between the variables can cause a modification in the inlet's geographical position. Knowledge of these parameters and interaction processes is extremely relevant for preservation and management of lagoon systems. The stability of the inlet of the Tramandaí lagoon has been studied using hydrodynamic, sediment, and morphological data integrated in a spatial and temporal analysis. The inlet is located between the beaches of Tramandaí and Imbé, and is fixed by a jetty-type structure along its left margin. The methodology applied in this analysis consisted of bathymetry measurements, geoprocessing techniques and calculation of the empirical relations. The data obtained allowed us to observe that the migration of the channel mouth migrated to the NE following the predominant littoral drift, before the channel was fixed at its left margin. After the

construction of the jetty the minimum transversal section of the inlet has been fixed and there is no register of accretion in the system. Based on an analysis of the physical stability of the inlet prior to the fixation of the channel, it is concluded that the channel showed strong instability.

**Keywords.** Tidal inlets, tidal prism, tidal inlets stability.

## 1 Introdução

Por sua beleza singular, a zona costeira serve de atrativo as pessoas que buscam desfrutar seus momentos de descanso ou que procuram fixar residência. Com isso, a ocupação desordenada degrada e descaracteriza esse ecossistema avançando sobre locais como dunas, áreas alagadas pela maré, manguezais, margens de rios, etc. Até o ano de 2011, cerca de 27% da população brasileira estava concentrada em municípios da zona costeira (IBGE, 2011), sem contar no verão, que em muitos locais a população quadriplica. No litoral norte do Rio Grande do Sul (RS) a intensificação de moradores ocorreu a partir dos anos 40, iniciada pelos pescadores que obtinham sua fonte de renda do oceano e das lagoas costeiras. Com o contínuo desenvolvimento desta antropização, ocorreram modificações ambientais nas praias, dunas e margens das desembocaduras, principalmente pela urbanização destes locais e, sem o conhecimento da dinâmica local, por naquele momento não se ter entendimento desta questão.

Desembocaduras (*inlets*) servem de comunicação entre os corpos de água interiores (lagunas, estuários e baías) e o oceano. Estes canais segmentam ilhas-barreiras, tanto transgressivas como regressivas, em duas ou mais porções (Hayes e Fitzgerald, 2013), ao longo das zonas costeiras, sendo importantes feições na troca de sedimentos. Também, possuem extrema importância para o meio biótico, pois através dos canais ocorrem as trocas de nutrientes, propiciando o ciclo de vida nestas regiões. São locais intensamente utilizados para atividades sociais e econômicas, como o turismo, o lazer e a pesca.

As desembocaduras compreendem três regiões principais: (1) porção oceânica, que inclui o corpo sedimentar externo (delta de maré vazante); (2) o canal principal, correspondente à região com a mínima área de secção transversal; e, (3) a porção interna, com seu corpo sedimentar interno (delta de maré enchente) (Bruun, 1978). Hayes (1979) classifica as desembocaduras em cinco tipos diferentes de acordo com a amplitude da maré e a altura das ondas. Através de dados de 89 embocaduras, Carr-Betts *et al.* (2012) demonstraram divergências da classificação

proposta por Hayes (1979) afirmando que outros fatores controlam a morfologia dos *inlets*.

As desembocaduras podem ser consideradas sistemas morfodinâmicos, funcionando através da interação dos três componentes principais: dinâmica de fluidos, transporte de sedimentos e mudanças morfológicas (Cassiano e Siegle, 2010). A morfodinâmica das desembocaduras é controlada pelas variáveis: prisma de maré, geometria do canal, energia das ondas e das marés, aporte sedimentar, distribuição dos canais estuarinos ou lagunares no reverso da barreira, estratigrafia regional, declive da antepraia e as modificações por obras de engenharia (Fitzgerald *et al.*, 2001). Dentre os tipos de intervenções, esses autores citam principalmente a combinação de estruturas tais como molhes e obras de dragagem do canal.

As desembocaduras podem migrar ou permanecer em uma determinada posição dependendo das complexas interações entre o prisma de maré, energia de ondas e disponibilidade de sedimentos (U.S. ARMY, 2002) e a descarga fluvial (Siegle *et al.*, 2004). Com esta ampla variação de fatores que influenciam na morfologia, e sendo que as desembocaduras exercem importante controle sobre o balanço sedimentar costeiro, não é inesperado que ocorram processos erosivos praias, os quais podem estar associados às causas naturais ou antrópicas. Algumas desembocaduras são fixadas por estruturas rígidas como enrocamentos, molhes e guia corrente; outras são livres e, portanto, sujeitas a migração de acordo com a dinâmica sedimentar local. A construção de portos e molhes ou a implantação de plataformas de petróleo podem causar fortes impactos que devem ser previstos no intuito de minimizar seus efeitos no transporte sedimentar (Soares, 2005). Segundo Jain *et al.* (2004), o conceito de estabilidade da desembocadura depende do potencial de equilíbrio entre a área da seção transversal da desembocadura e o volume de água e de sedimentos transportados.

Por ser considerado o ambiente mais complexo da zona costeira (Komar, 1996), e por sua extrema importância, estudos com relação à morfologia das desembocaduras foram desenvolvidos ao longo dos anos, principalmente sobre novas técnicas para compreensão dos fatores controladores da estabilidade. As atividades antrópicas nestas regiões são crescentes, principalmente associadas a questões de ordem econômica, podendo gerar graves consequências ambientais e resultando até mesmo em riscos à própria população. O conhecimento e a manutenção da dinâmica natural destas regiões é um dos maiores desafios para os pesquisadores. Bruun e

Gerritsen (1960), observaram que a circulação pela maré tende a limpar o canal, e a deriva litorânea de sedimentos tende a obstruir a embocadura. Sendo assim, a morfologia na embocadura tenderá a se transformar continuamente refletindo o resultado do balanço de sedimentos que ocorre na região.

A embocadura da Lagoa de Tramandaí, localizada entre as praias de Tramandaí e Imbé, é uma das cinco que ocorrem no litoral do Rio Grande do Sul (RS) e encontra-se fixada com apenas uma estrutura tipo guia-corrente ao longo da margem esquerda (Fig. 1). Os primeiros moradores a ocuparem esta região foram os pescadores que utilizavam o canal lagunar como acesso ao mar. Em determinados momentos na saída para o mar, se sentiam prejudicados por não terem o pretendido acesso, porque a embocadura estava fechada, ou seja, assoreada por sedimentos arenosos. Sendo assim se reuniam em grupos e abriam o canal com enxadas e pás. Com o passar do tempo, advindo às tecnologias, o Departamento Estadual de Portos, Rios e Canais (DEPREC), hoje Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH), construiu um guia corrente em 1960 sobre a margem esquerda, para fixação do canal, impedindo sua migração e mantendo a profundidade (Motta, 1965).

Na mesma década o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS) foi contratado para realizar estudos com o intuito de analisar as consequências de tal regularização. Foi então desenvolvida uma pesquisa em modelo físico reduzido, o qual mostrou como resultado que a construção de um par de molhes se estendendo até a isóbata de 5 m, não manteria um canal de acesso com profundidade esperada de 4 m. Além disso, a praia de Imbé ao norte da desembocadura sofreria um gradual e significativo recuo.

A fixação da margem esquerda da desembocadura favoreceu não só os pescadores, mas também a urbanização no município de Imbé, que se desenvolveu de forma intensa. As embarcações da PETROBRAS, que possui um terminal de operações marítimas dentro do canal, foram também favorecidas facilitando o acesso ao mar sempre no mesmo local.

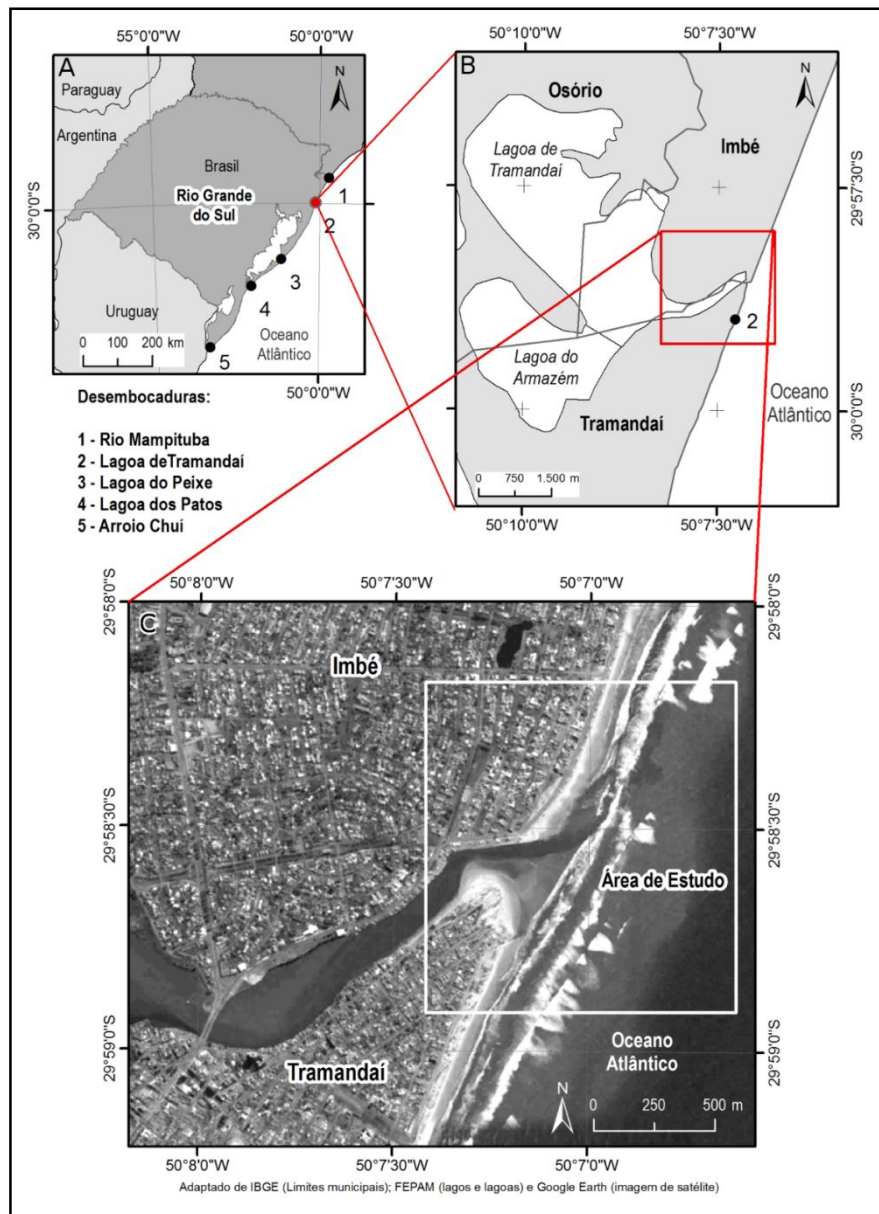
No presente trabalho, o objetivo é analisar a estabilidade da desembocadura da Lagoa de Tramandaí, com base em dados hidrodinâmicos, sedimentológicos e morfológicos integrados numa análise espaço-temporal. Mesmo com sua importância estratégica para o desenvolvimento socioeconômico da região, a dinâmica da embocadura é pouco conhecida. Os resultados pretendidos são relevantes para o adequado gerenciamento costeiro e a conservação do meio ambiente lagunar.



## 2 Área, materiais e métodos

### 2.1 Caracterização geológica, climatológica e oceanográfica

A desembocadura da Lagoa de Tramandaí, localizada na porção nordeste da planície costeira do RS, serve como divisor político entre os municípios de Imbé, ao norte, e Tramandaí, ao sul (Fig. 1).



**Figura 1.** Área de estudo. A) Localização das desembocaduras litorâneas no estado do Rio Grande do Sul; B) Delimitação da embocadura da Lagoa de Tramandaí, situada entre os municípios de Imbé ao norte e Tramandaí ao sul; C) Canal lagunar em destaque, onde o alinhamento ao longo da margem esquerda corresponde ao guia-corrente.

**Figure 1.** Study area. A) Rio Grande do Sul inlet locations; B) Demarcation of the Tramandaí Lagoon inlet, situated between the municipalities of Imbé to the North, and Tramandaí to the South; C) Lagoon channel highlighted, where the line along the left margin corresponds to the jetty.

O sistema lagunar é constituído pelas Lagoas de Tramandaí e Armazém, ambas inseridas no sistema de lagoas desta planície (Tabajara, 1994). A barreira costeira de idade holocênica na porção leste da área de estudo apresenta uma estratigrafia regressiva (progradante) (Travessas *et al.*, 2005).

A água doce que ingressa na Lagoa de Tramandaí é proveniente principalmente do rio Tramandaí, que pertence à bacia hidrográfica de mesmo nome com área de 3145 km<sup>2</sup>. O sistema do escoamento laguna-mar depende do regime pluviométrico regional, do maior ou menor represamento das águas pelos ventos do quadrante sul e da ocorrência das marés meteorológicas (Tabajara, 1994).

O clima na região é subtropical úmido, sendo que o litoral norte do RS é mais chuvoso e mais quente que o litoral sul. Segundo Nimer (1977), os ventos são controlados pelos sistemas de altas pressões tropicais e polares do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS) e do Anticiclone Polar Migratório (ATM) induzindo maior incidência dos ventos do quadrante nordeste entre os meses de setembro a março, e os ventos de sudoeste entre abril e agosto. A precipitação média na área de 1311,9 mm apresenta um pequeno aumento no inverno (Hasenack e Ferraro, 1989).

De acordo com a classificação de Davies (1980), a costa do RS é do tipo micromarés, caracterizada por marés astronômicas inferiores a 2 m, com amplitude média de 0,25 m, sendo que a maré meteorológica pode alcançar 1,20 m (Almeida *et al.*, 1997).

Incidem sobre a costa do Rio Grande do Sul ondulações geradas no oceano Atlântico sul e vagas geradas pelos fortes ventos locais de verão e primavera, provenientes de NE. Exceto pela passagem das frentes frias de S e SE, a agitação marítima é caracterizada por ondas de média a elevada energia, com altura significativa de 1,5 m e período entre 7 e 9 s (Almeida *et al.*, 1997). Conseqüentemente, o transporte e a deposição dos sedimentos ao longo da costa são primariamente dominados pela ação das ondas.

O sentido preferencial do transporte sedimentar em frente a embocadura é para nordeste, com a migração da desembocadura neste sentido. Este comportamento foi observado por Tomazelli e Villwock (1992), a partir da interpretação de aerofotos dos anos de 1948 a 1975. Simulações matemáticas da deriva litorânea foram efetuadas por Lima *et al.* (2001), com emprego do método do fluxo de energia (U.S. ARMY, 1984), encontrando valores líquidos para região na ordem de 1.520.130 m<sup>3</sup>/ano (K = 0,64) e 926.329 m<sup>3</sup>/ano (K = 0,39) e direção resultante para nordeste. Com a divisão do litoral médio em células litorâneas, Motta (2011), quantificou a deriva litorânea,

através do mesmo método, obtendo para célula 12 (região mais próxima da desembocadura da Lagoa de Tramandaí) o valor de 2.322.470 m<sup>3</sup>, entre os anos de 1998 e 2009.

As correntes de maré no canal lagunar com vazões entre 75 e 200 m<sup>3</sup>/s e média de 130 m<sup>3</sup>/s (Motta, 1965, 1967), apresentam baixa influência na sedimentação e morfogênese costeira, as quais impedem que a desembocadura seja obstruída pelo assoreamento sedimentar. As correntes litorâneas com direções para NE são dominantes, com velocidades variando entre 0,10 e 0,83 m/s (Jung e Toldo, 2011).

## 2.2 Materiais e métodos

### 2.2.1 Aquisição dos dados

Para o reconhecimento do fundo na área da embocadura foi conduzido um levantamento batimétrico. A metodologia utilizada consistiu na utilização da ecossonda Humminbird 987C SI Combo com sensor de 200 kHz. As linhas de sondagem foram estabelecidas de modo paralelo e perpendicular à linha de praia com espaçamento médio de 200 m. A correção de nível foi conduzida com uma régua linimétrica situada na embocadura da Lagoa de Tramandaí e adicionalmente com maregramas de Rio Grande. Posteriormente, as isóbatas foram geradas através do método de interpolação por triangulação Delaunay.

### 2.2.2 Geoprocessamento

As fotografias aéreas utilizadas correspondem a levantamentos realizados em 1940, 1942, 1948, 1953, 1964, 1967, 1970, 1974, 1986, e as imagens de satélite dos anos 2005, 2010 e 2012 foram adquiridas no *Google Earth*®. O processo de georreferenciamento das fotografias aéreas e das imagens *Google Earth* foram executadas no *software ArcMAP e ArcGis 10*:

a) Registro da imagem mais recente *Google Earth*® de 2012 a partir de uma imagem do satélite LANDSAT-7, sensor ETM+, ortorretificada e com resolução espacial de 15 m; por aplicação da rotina de geoprocessamento que executa a fusão de imagens multiespectral e pancromática, através do *software ENVI*. Foram estabelecidos seis pontos de controle e,

b) A partir da imagem georreferenciada do *Google Earth*®, foram registradas todas as demais imagens da área, desde 1940 até 2010, com seis pontos de controle equivalentes.

### 2.2.3 Cálculos das relações empíricas de estabilidade

As amplitudes de maré de sizígia e de quadratura foram estimadas a partir da Tábua de Marés para o porto de Rio Grande disponibilizada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). A área da Lagoa de Tramandaí foi medida a partir das imagens de satélite georreferenciadas.

O prisma de maré foi calculado utilizando a Equação (1):

$$P = A_m \cdot A \quad (1)$$

onde  $A_m$  é a amplitude da maré (m),  $A$  é a área da laguna ( $m^2$ ).

Primeiramente a área da seção transversal do canal foi calculada a partir das fórmulas propostas por O'Brien (1969) (Equação 2) e Jarret (1976) (Equação 3):

$$A = (9,02 \times 10^{-4}) \times P^{0,85} \quad (2)$$

$$A = (1,57 \times 10^{-4}) \times P^{0,95} \quad (3)$$

onde  $A$  é a área da seção transversal mínima ( $m^2$ ) e  $P$  é o prisma de maré ( $m^3$ ).

Após coleta de dados batimétricos da área do canal foi possível à realização do cálculo da área da seção transversal utilizando o *software* SURFER (*Golden Software*).

A relação largura e profundidade foi calculada a partir da Equação (4):

$$L/D_m \quad (4)$$

onde  $L$  é a largura da seção mínima do canal (m) e  $D_m$  é a profundidade média do canal (m).

Outra relação de estabilidade aplicada foi aquela proposta por Bruun e Gerritsen (1960), relacionando o transporte de sedimentos litorâneos total ( $M_t$ ) com o prisma de maré de sizígia ( $P$ ), representando deste modo a capacidade dos fluxos de enchente e vazante de maré em transportarem os sedimentos depositados no canal (Siegle, 1999).

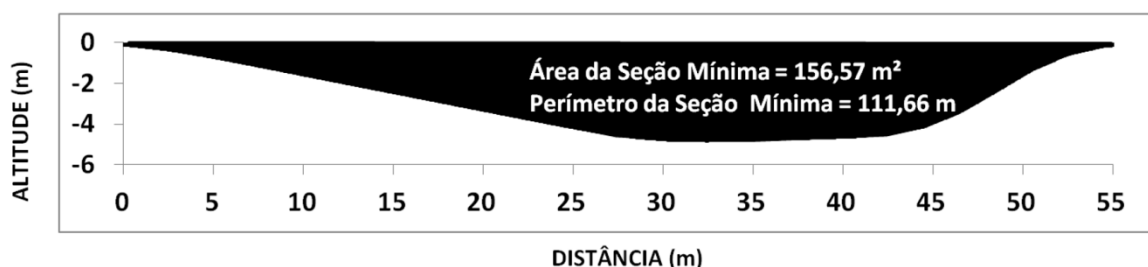
## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Morfometria do canal lagunar

A partir da coleção de fotografias aéreas foram obtidas as extensões de superfície média do canal e da laguna, num total de 18,27 km<sup>2</sup>, valor que pode apresentar pequenas variações em função da influência das precipitações pluviométricas sobre o nível médio das águas. O corpo lagunar é raso (Fig. 1), sendo que a Lagoa do Armazém apresenta valores entre 0,5 e 1 m e, a Lagoa de Tramandaí apresenta um máximo de 1,40 m de profundidade.

O canal de Tramandaí possui uma extensão de 1,5 km e nas proximidades da seção transversal mínima (Fig. 2) apresenta uma largura de 55 m e profundidade média de 2,90 m. Estas dimensões são controladas pelas condições geológicas do terreno, meteorológicas e hidrodinâmicas e apresentam pequenas variações, principalmente por causa da reduzida amplitude da maré. Apesar da margem esquerda do canal estar fixada, a margem direita é livre e se desenvolve sobre um pontal arenoso que cresce para norte, e força o fechamento do canal. Mesmo sendo uma embocadura estabilizada pela construção do guia-corrente, são observadas pequenas variações batimétricas no canal, controladas pela morfodinâmica do pontal.

O fundo do canal lagunar é composto por areias finas, cuja deposição resulta da ação de correntes bidirecionais controladas pelas marés (Tabajara e Dillenburg, 1997). Com o avanço da urbanização em direção às desembocaduras ou com a construção de estruturas de fixação há certa tendência em ocorrer o estrangulamento da área da seção mínima do canal. Entretanto, ao observarmos a tendência de migração do canal com base nas fotografias aéreas se observa que a área da seção transversal do canal se conserva durante este processo.



**Figura 2.** Perfil da seção transversal mínima do canal lagunar.  
**Figure 2.** Minimum cross-sectional profile of the lagoon channel.

Também, Pope (2000), ao estudar os mecanismos que contribuem para o assoreamento do canal descreve padrões associados com estes mecanismos. O autor ao discutir sobre a migração do canal, afirma que a área da secção transversal é aproximadamente conservada durante a migração e, se a margem submetida à

erosão encontrar uma superfície resistente, como um molhe, o canal pode aprofundar e estreitar-se, mas mantendo a capacidade de acomodar o mesmo escoamento hidráulico.

### *3.2 Histórico da migração do canal*

Os resultados das mudanças morfológicas na desembocadura da Lagoa de Tramandaí, desde a década de 40 até os dias atuais podem ser obtidos a partir das fotografias e imagens aéreas (Fig. 3 a 5). No momento em que houve a construção do guia-corrente na margem esquerda em 1961 o canal se tornou estável, porém, a margem direita submetida à dinâmica do pontal arenoso possui forma variável, controlada pelo tamanho e orientação do pontal.

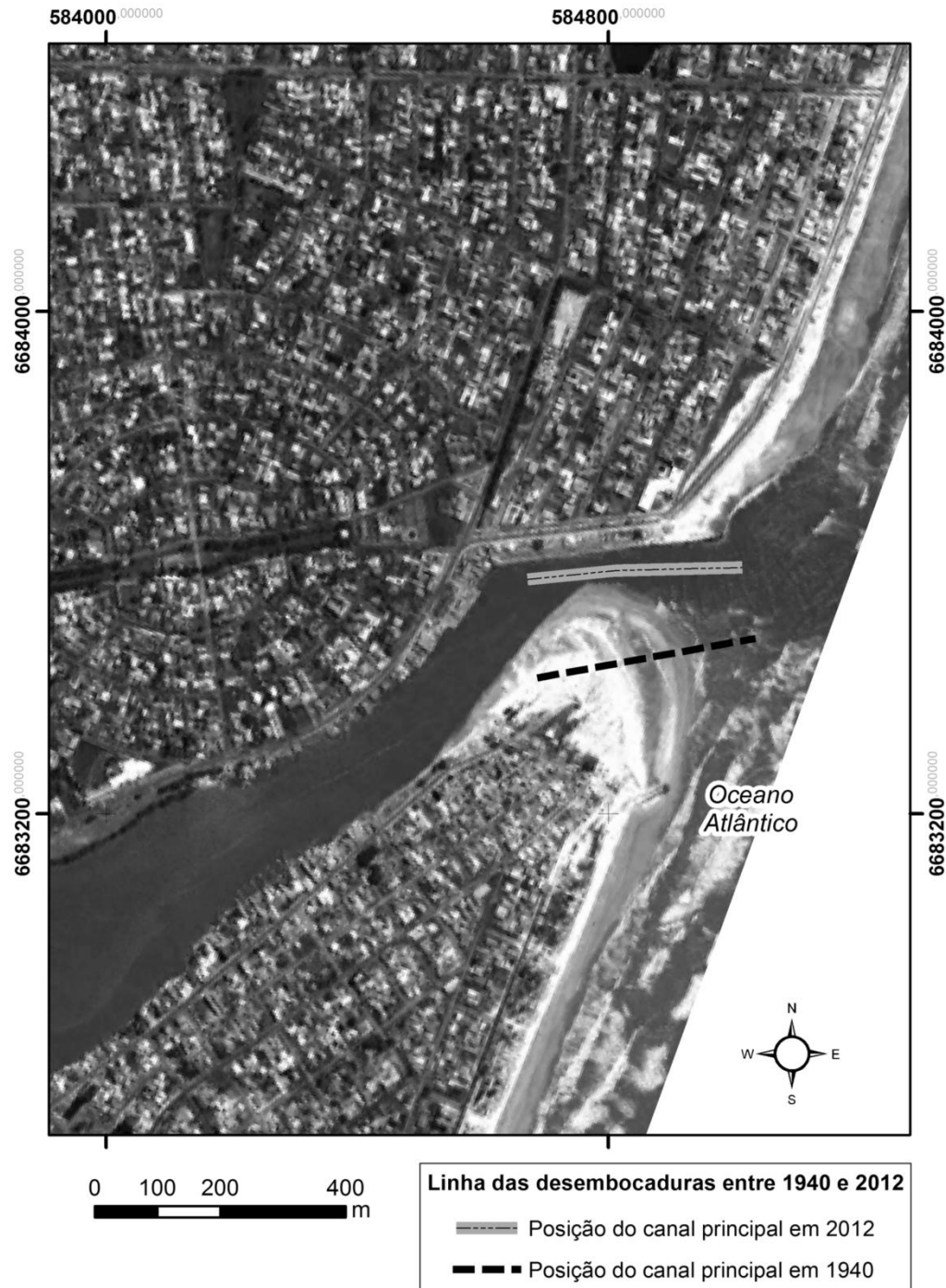
A região da desembocadura da laguna na década de 40 apresentava uma conformação bastante diferenciada, havia poucas residências, sendo estas habitadas por pescadores.

A desembocadura se encontrava em uma posição similar aos dias atuais, migrando livremente para NE, acompanhando a direção preferencial da deriva litorânea. Em 1940 se observa um canal abandonado orientado paralelamente à linha de costa (Fig. 4A), protegido pelo pontal arenoso. Nesta época não é possível afirmar que o canal rompeu a barreira arenosa naturalmente, pois se têm relato que foram feitas intervenções de aberturas pelos pescadores em 1937.

Nesta figura também se observa o tipo de praia adjacente à embocadura através do número de linhas de espuma, as quais estão associadas à quebra das ondas indicando presença de mais de um banco arenoso submerso, conferindo à praia características dissipativas do tipo banca e cava longitudinal (Jung e Toldo, 2011).

Em 1942 o referido canal abandonado citado é reativado provavelmente pela obstrução da embocadura causada pela deriva litorânea, de modo que o, seu novo posicionamento dista 0,9 km para nordeste. Também, a migração da embocadura modifica a posição da seção mínima. Ainda, é possível visualizar o avanço dos campos de dunas sobre o pontal arenoso. O transporte eólico se constitui no principal

mecanismo de assoreamento do canal lagunar quando este for abandonado (Fig. 4DE).

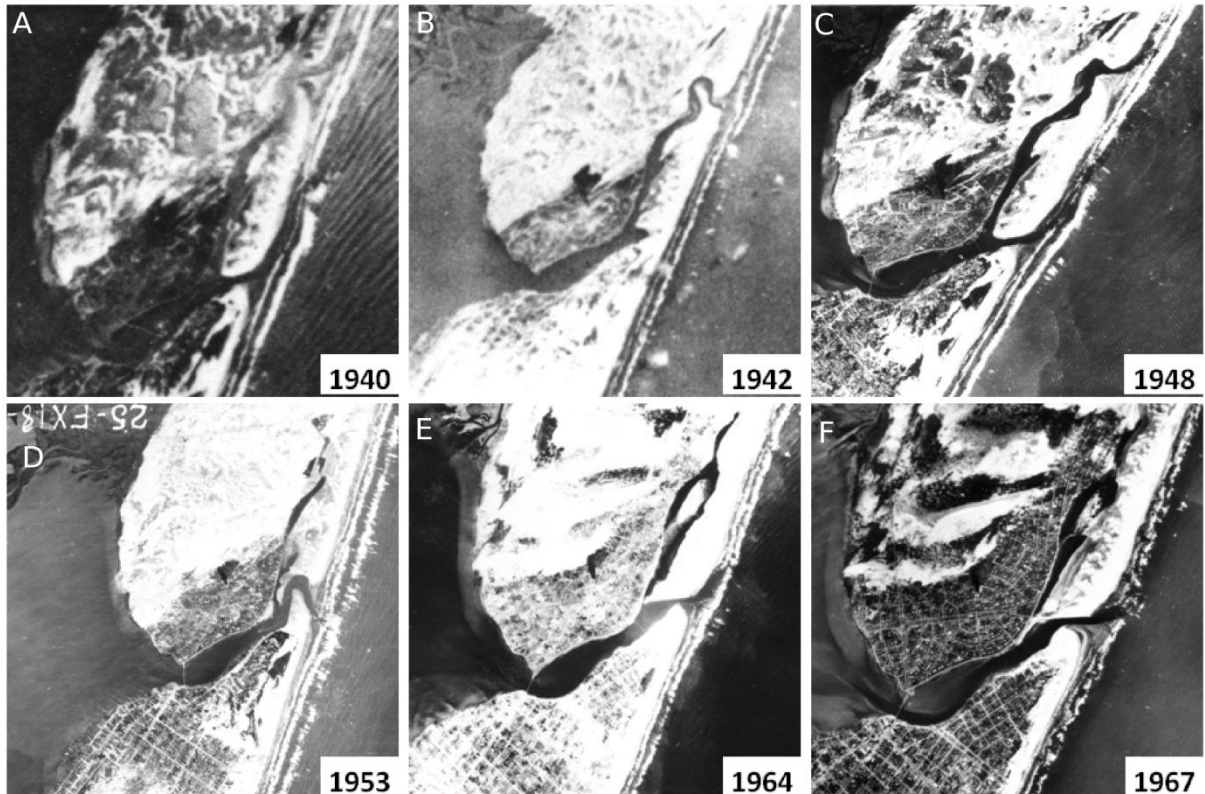


**Figura 3.** Linhas representativas da posição do canal da embocadura em 1940 e 2012.

**Figure 3.** Lines represent the inlet position in 1940 and 2012.

No ano de 1948 a embocadura retorna a posição mais ao sul, porém trata-se de abertura artificial por ação antrópica. Os sedimentos depositados na desembocadura são carreados para o oceano estando disponibilizados para

retrabalhamento e transporte pelas correntes litorâneas. A ocupação na margem esquerda começa a se potencializar com a construção de um loteamento.



**Figura 4.** Coleção de fotografias aéreas do canal e embocadura lagunar entre 1940 e 1967, ilustrando a mobilidade desta feição. A) Início do processo de urbanização na década de 40; E) Instalação do guia-corrente no início dos anos 60.

**Figure 4.** Collection of aerial photographs of the lagoon channel and inlet between 1940 and 1967, illustrating the mobility of the features. A) Beginning of urbanization in the 1940's; E) Installation of the jetty in the early 1960's.

Em 1953 o terreno úmido ao longo do canal abandonado se apresenta ocupado. Também, se observa o movimento lateral do canal em decorrência do meandramento natural induzido pelo crescimento do pontal arenoso, para norte. O lado sul do canal desenvolve um baixio, enquanto que o lado norte desenvolve um talvegue com gradiente mais acentuado por causa da erosão sobre a margem esquerda, que resulta em um perfil transversal nos moldes da seção mínima ilustrada na figura 2. Este mecanismo de migração foi classificado por Pope (2000), e pode ser utilizado para descrever a dinâmica e a evolução morfológica desta embocadura, conforme descrito anteriormente.

As fotografias aéreas de 1964 e 1967 mostram a instalação e o posicionamento da obra de engenharia costeira que resultou na fixação da margem esquerda, no



isolamento físico do canal abandonado e a formação de uma área denominada pelos moradores como “braço morto”, isto é, uma porção residual do canal abandonado que ainda está preservada.

Nos anos subsequentes a ocupação se intensifica com aterros das áreas úmidas. É visível a redução do campo de dunas e a mobilidade da margem direita por não estar fixada (Fig. 5).

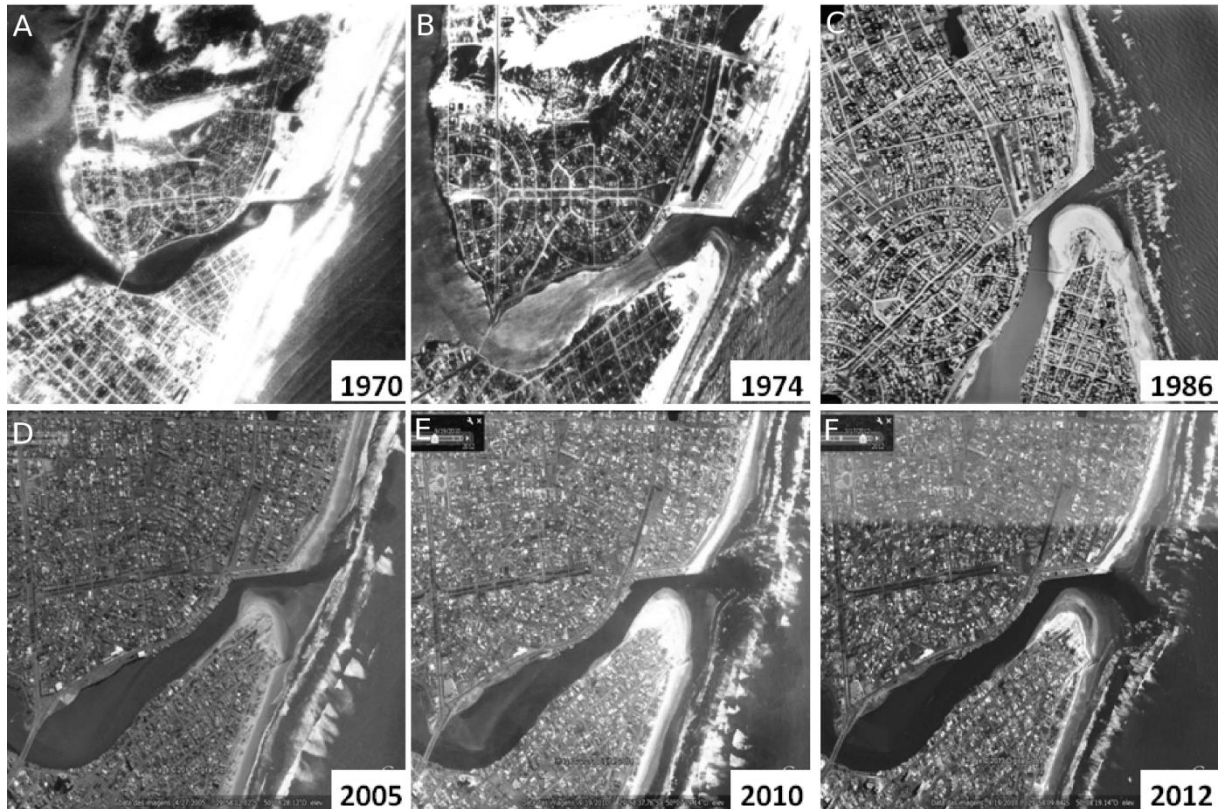


Figura 5. Fotografias aéreas e imagens entre 1970 e 2012, onde se observa o acelerado processo de urbanização. A) Aterramento do canal abandonado; D) Reduzida mobilidade do pontal arenoso na extremidade norte da praia de Tramandaí.

**Figure 5.** Aerial photographs and images of the period between 1970 and 2012, where rapid urbanization can be seen. A) Filling of the abandoned channel; D) Reduced mobility of the sandy spit at the north extremity of the Tramandaí beach.

Através da comparação das fotografias e imagens apresentadas nas figuras 4 e 5 é possível comentar que houve uma enorme transformação no ambiente natural. Entre os anos de 1940 e 2012, o pacote sedimentar do esporão arenoso aumentou cerca de 150 m em direção ao norte e, um recuo de 228 m ocorreu na margem esquerda da desembocadura entre os anos de 1953 e 1974.

O padrão morfodinâmico da desembocadura da Lagoa de Tramandaí anterior à fixação é o mesmo encontrado na região (Araújo, 2008; Vieira da Silva *et al.*, 2009;

Schossler, 2011), ou seja, a intensa migração da embocadura forçada pelo crescimento de um pontal arenoso no sentido da deriva litorânea predominante e a redução da seção transversal mínima (Fitzgerald, 1996).

A desembocadura lagunar teve transformações naturais e antrópicas, condicionados principalmente aos fatores naturais, tais como: regime de precipitação, incidência das ondas, transporte de sedimentos. Entretanto, após a fixação da margem esquerda cessaram as migrações do canal para NE, foi fixada a seção transversal mínima e não existem registros de assoreamento na embocadura.

### *3.3 Relações de estabilidade*

O comportamento morfodinâmico e a estabilidade da desembocadura e zonas costeiras adjacentes são governados por uma complexa interação entre as ondas, o fluxo das marés, a descarga fluvial e o transporte de sedimentos (Fitzgerald, 2005). A tendência é que o fluxo das marés remova os sedimentos depositados no canal e que a deriva litorânea obstrua o canal pela deposição sedimentar (Bruun e Gerritsen, 1960). Todas as interações que ocorrem entre a dinâmica do prisma de maré, transporte e deposição, incidência das ondas e a variabilidade da amplitude da maré causam mudanças na morfologia do canal.

O valor calculado para o prisma de maré em condições de sizígia foi de 6.759.900 m<sup>3</sup>. A altura da maré de quadratura é muito similar, sendo, portanto os cálculos efetuados apenas na maré de sizígia. A partir da utilização dos coeficientes propostos por Jarret (1976), os valores encontrados para área de seção transversal foi de 459,55 m<sup>2</sup>. Através dos coeficientes propostos por O'Brien (1969), o valor encontrado foi de 576,31 m<sup>2</sup>. E, a partir do levantamento batimétrico a área da seção transversal apresentou como resultado 156,57 m<sup>2</sup>.

De acordo com Stive e Rackhorst (2008), as relações empíricas utilizadas no cálculo das áreas transversais de equilíbrio acabam por apresentar valores maiores do que os encontrados na natureza. Em embocaduras de menor tamanho isto indica que a relação entre o prisma de maré e a área da seção transversal depende de parâmetros físicos adicionais, tais como período das marés, largura do canal e velocidade da deriva litorânea bruta ao longo da costa como indicado por Kraus (1998).

Como se sabe o prisma de maré aumenta conforme aumenta a área da laguna ou a amplitude da maré. O prisma se mantendo constante tende a manter a área da

seção transversal constante. No caso da desembocadura em estudo se o prisma aumentar, a área da seção transversal aumentará, porém apenas a margem direita do canal sofrerá alterações em sua morfologia. Se o prisma diminuir de amplitude a área da seção transversal também tenderá a diminuir.

Se a área da baía ou laguna localizada na retrobarreira for de pequena dimensão a área da seção transversal do canal será reduzida, bem como o prisma de maré. Aumentando a dimensão do corpo lagunar ou da baía os demais fatores também sofrerão um aumento (Hayes e Fitzgerald, 2013). Na área em estudo, a partir da fixação da desembocadura a área mínima da seção transversal se manteve estável, e também, porque não ocorreram modificações no prisma de maré.

A abertura ou fechamento da embocadura, bem como a migração do canal são controlados pelas variáveis relacionadas anteriormente. Basicamente, a deriva litorânea atua forçando o fechamento da embocadura, e em oposição, os escoamentos lagunares controlados pela precipitação na bacia do Rio Tramandaí e, também, o prisma de maré forçam a abertura e a manutenção da embocadura.

De acordo com Fitzgerald (2005), a deriva litorânea deposita sedimentos no interior do canal e, dependendo do ciclo de maré, esse sedimento é levado em direção ao mar e/ou em direção à laguna, formando os deltas em ambas as extremidades. Em um lado do canal ocorre a deposição de sedimentos enquanto no lado oposto ocorre erosão, ou seja, o canal migra de acordo com a direção do transporte predominante ao mesmo tempo em que ocorre a tendência de manter a área do canal (Davis e Fitzgerald, 2004).

Também, os bancos que se formam em frente à desembocadura ou o delta de maré vazante, atua como um depósito regulador de sedimentos para alimentar as praias adjacentes. Motta (1967), cita que ocorre essa formação devido às tendências opostas do transporte litorâneo e dos escoamentos fluviais. Dependendo da direção do transporte predominante na área ocorrerá a migração lateral da desembocadura. Sendo assim, essa disponibilidade de sedimentos na porção exterior ao canal condicionará a relação entre o prisma de maré e a deriva litorânea (Siegle, 1999).

A partir dos dados de transporte de sedimentos medidos por Motta (2011) o valor encontrado para relação entre o prisma e a deriva litorânea foi de 22,03. Para Bruun e Gerritsen (1960), uma desembocadura com valores  $20 < P/Mt < 50$  significa uma desembocadura do tipo transpasse de banco, com arrebenção de ondas no banco durante tempestade. Ela permanece aberta, mas o canal só é limpo por enxurradas na época das chuvas e é perigoso à navegação.

Para Kraus (2000) este valor encontrado classifica o canal como instável, com tendência ao assoreamento e/ou migração forçada pela deriva litorânea. Isso nos mostra que se a margem esquerda do canal em estudo não estivesse fixada, a desembocadura continuaria naturalmente migrando; transpassaria sedimento de um lado para outro bem como agregaria sedimento proveniente dos bancos do delta de maré vazante. O prisma de maré ocorrendo de forma estável, sendo responsável por uma constante remoção de sedimentos, condiciona ao não fechamento do canal, impedindo então a obstrução causada pela deriva litorânea.

A relação entre a largura ( $L$ ) e a profundidade média ( $D_m$ ) da seção transversal mínima resultou em um valor de 19 para o canal lagunar. Quando a largura do canal aumenta devido a um evento meteorológico o valor da relação também aumenta. Quando o valor encontrado for baixo, como neste caso, estará representando um canal estável.

#### *3.4 Utilidade da obra costeira*

Para concretização de obras costeiras são necessários conhecimentos sobre a dinâmica do ambiente, tais como: ondas, correntes, ventos, marés, precipitação, etc. Se a instalação da obra ocorre sem uma boa base destes dados pode gerar problemas nas áreas adjacentes. Assim sendo, observando-se o atual momento em que se encontra o guia corrente e com base em trabalhos na área de estudo sobre a linha de costa (Toldo *et al.*, 1999; Lopes *et al.*, 2008) se pode afirmar que o guia corrente não afetou o transporte litorâneo que ocorre na região.

A praia de Imbé se mantém constante, apenas erodindo nos períodos de inverno, como já é o esperado no perfil praiar desta época do ano (Weschenfelder e Ayup-Zouain, 2002). Lélis (2003) encontrou taxas de erosão na linha de praia de Tramandaí e relacionou este resultado com a intensa ocupação desordenada situada sobre as dunas frontais.

O guia corrente é eficiente no que diz respeito ao impedimento da migração da desembocadura, um dos motivos pelo qual foi construído. A questão de manter a profundidade em torno de 4 m, como o esperado, não é sempre mantida, pois o esporão arenoso no lado direito do canal migra para norte e obstrui o canal, bem como o delta de maré vazante localizado em frente também fornece sedimentos para dentro do canal. Esta migração e oferta de sedimentos estão de acordo com registros

observados em outras desembocaduras na região (Piérri, 2005; Araújo, 2008; Vieira da Silva *et al.*, 2009).

Os pescadores que utilizam a desembocadura, bem como as embarcações da PETROBRÁS foram beneficiados com a obra podendo navegar seguramente. Apenas quando há períodos de grande deposição de sedimentos em frente à desembocadura a navegação fica comprometida devido à formação do banco de maré vazante. Não há proteção às ondas de maior energia para as embarcações saírem em alto mar, pois o guia corrente não apresenta a mesma função dos molhes.

## 5 Conclusões

As instalações de obras costeiras requerem estudos técnicos e ambientais prévios antes de serem executadas. Um preciso e detalhado projeto deve ser requisitado, para fins de minimizar os impactos sobre a dinâmica sedimentar do ambiente. O desenvolvimento de obras costeiras em águas rasas pode causar alterações principalmente relacionadas à deriva litorânea pela intervenção na migração dos sedimentos.

O transporte sedimentar litorâneo mantém a tendência histórica e natural de obstruir a embocadura, e induzir a migração para o lado norte, porém o reduzido prisma de maré exerce uma força contrária que mantém o canal sem os depósitos de areia do delta de maré vazante ou de enchente.

A análise das relações de estabilidade física da embocadura permite concluir que o canal apresenta forte instabilidade.

O guia corrente instalado na desembocadura da Lagoa de Tramandaí, para a finalidade em que foi construído, foi eficiente quanto à ausência de impactos sobre a deriva litorânea, e principalmente quanto à estabilização da embocadura.

## Referências bibliográficas

- Andrés, M.F. 2008. Modelización del flujo em acuífero confinado sin discretización temporal. *Boletín Geológico y Minero*, 119(2): 273-282.
- Brown, G.C. 1982. Calc-alkaline intrusive rocks: their diversity, evolution and relation to volcanic arcs. *In*: Thorpe, R.S. (Ed.). *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. London, John Wiley, p. 437-460.

- Camargo, K.C. e Spoladore, A. 2009. Considerações geológicas e geomorfológicas sobre a distribuição de cavernas carbonáticas ao primeiro planalto paranaense. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 30., 2009, Montes Claros. *Anais...* Montes Claros. p. 1-17. Disponível em: <[http://www.sbe.com.br/anais30cbe/30cbe\\_011-017.pdf](http://www.sbe.com.br/anais30cbe/30cbe_011-017.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2009.
- Frater, H. 1998. *Landforms of the Earth*. Berlin, Springer, 1 CD-ROM.
- Hinrichs, R. e Soares, A.P.P. 2001. Análise de metais pesados em pilhas e baterias. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 8., 2001, Curitiba. *Anais...* Curitiba, SBGq. 1 CD-ROM.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. *Vocabulário básico de recursos minerais e meio ambiente*. 2<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, IBGE, 332p.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 2 v., escala 1:1.000.000.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2002. *Diagnóstico das condições das encostas marginais dos reservatórios dos rios Tietê e Paranapanema*. São Paulo, IPT, 440p. (Relatório 23.302).
- Macedo, F.P. 1982. *Petrologia do complexo granítico de São Gabriel, RS*. Porto Alegre, 193p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Malcom, H.J. 1979. *Report on biostratigraphical results of samples from Colorado Basin*. Houston, EXXON/SIEXF, 152p. (Internal Report).
- Massoli, M. 1991. *Relação entre o embasamento cristalino e os sedimentos basais do Subgrupo Itararé na região de Salto de Pirapora, SP*. São Paulo, 94p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Micheels, A., Bruch, A. e Mosbrugger, V. 2009. Miocene climate modeling sensitivity experiments for different CO<sub>2</sub> concentrations. *Palaeontologia Electronica*, 12(2): 1-19. Disponível em: <[http://palaeo-electronica.org/2009\\_2/172/index.html](http://palaeo-electronica.org/2009_2/172/index.html)>. Acesso em: 05 out. 2009.
- Passchier, C.W., Myers, J.S. e Kroner, A. 1990. *Field geology of high-grade gneiss terrains*. Berlin, Springer-Verlag, 150p.
- Russo, R.W. 1997. Facies and facies models. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 256(3/4): 7-34.
- Russo, R.W. e Silver, P.J. 1996. Cordillera formation, mantle dynamics, and the Wilson cycle. *Geology*, 24(1): 5-35.
- Russo, R.W., Silver, P.J. e Ramos, V. 1994. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, 33(supl.): 4-27.

- Schneider, R.L., Mühlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R.A., Daemon, R.F. e Nogueira, A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 28., 1974, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre, SBG, v. 1, p. 41-66.
- Silva, W.G. 2008. *Bioestratigrafia e variações relativas do nível do mar na Planície Costeira do Rio Grande do Sul: estudo da seção neogênica/quaternária do poço 2-CA-1-RS com base em registros palinológicos*. Porto Alegre, 84p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Sommer, F.W. 1959. Introdução ao estudo sistemático dos gêneros paleozóicos de esporos dispersos. II - Pollenites. *Boletim do Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia*, 197: 5-91.

## Capítulo 3

### **Artigo 2. Inundação Costeira por Elevação do Nível do Mar em Imbé e Tramandaí - RS.**

Este capítulo apresenta o conteúdo do segundo artigo que compõe esta tese e foi submetido para a *Revista Brasileira de Cartografia* em mar/2019. A seguir o conteúdo submetido é apresentado com ajustes na formatação a fim de melhorar a apresentação do mesmo. A carta de aceite das revisões realizadas é apresentada na próxima página.



27/04/2019

Gmail - [RBC] Agradecimento pela submissão



Ana Silva &lt;ana.oceano@gmail.com&gt;

---

**[RBC] Agradecimento pela submissão**

1 mensagem

Prof. Dr. João Vítor Meza Bravo &lt;nao\_responda@seer.ufu.br&gt;

17 de abril de 2019 14:58

Para: Ana Fatima da Silva &lt;ana.oceano@gmail.com&gt;

Ana Fatima da Silva,

Agradecemos a submissão do trabalho "Inundação Costeira por Elevação do Nível do Mar em Imbé e Tramandaí - RS" para a revista Revista Brasileira de Cartografia.

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/authorDashboard/submission/48304>

Login: anaf-silva

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Prof. Dr. João Vítor Meza Bravo

## Inundação Costeira por Elevação do Nível do Mar em Imbé e Tramandaí - RS

### Coastal Flooding by Elevation of the Sea Level in Imbé and Tramandaí - RS

Ana Fatima da SILVA<sup>1</sup>, Elírio Ernestino TOLDO JR.<sup>1,2</sup>, Arnold van ROOIJEN<sup>3</sup>, Cláudia Franca de ABREU<sup>4</sup>, Jorge Luiz RODRIGUES FILHO<sup>5</sup>, Ronaldo dos Santos da ROCHA<sup>2</sup>, Robson dos Santos AQUINO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Geociências, Porto Alegre/RS, Brasil. E-mail: ana.oceano@gmail.com

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Porto Alegre/RS, Brasil. E-mail: toldo@ufrgs.br, ronaldo.rocha@ufrgs.br, robgeo@ig.com.br

<sup>3</sup>The University of Western Australia, School of Earth Sciences, WA, Australia. E-mail: arnold.vanrooijen@research.uwa.edu.au

<sup>4</sup>The University of Western Australia, School of Agriculture and Environment, WA, Australia. E-mail: claudia.francadeabreu@research.uwa.edu.au

<sup>5</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina. Laboratório de Ecologia. Laguna/SC, Brasil E-mail: jorlrf@gmail.com

#### RESUMO

Uma das consequências da elevação do nível do mar é predispor a população e o ecossistema à inundação costeira. A vulnerabilidade pode causar distintos impactos dependendo da cota do terreno e da extensão da área ocupada. Imbé e Tramandaí localizados no litoral norte do RS são dois municípios que apresentam cotas baixas e área densamente ocupadas. Através de levantamentos topográficos do terreno foi conduzido um modelamento digital para determinação das cotas de inundação. Foram considerados 07 cenários de elevação do nível do mar, a partir de um conjunto de eventos marinhos extremos registrados na área de estudo, resultantes da soma das seguintes variáveis: oscilação mareal e sub-mareal. Também, foram somadas as oscilações da onda por galgamento. Além das condições de mar atual foram incorporados nesta análise as projeções futuras da variação do nível do mar de acordo com o IPCC. A menor cota de subida do nível foi de 2,07 m e a maior de 4,33 m. Os mapas gerados possibilitaram a descrição da vulnerabilidade à subida do nível do mar, bem como reconhecer os locais com maior inundação. A análise dos resultados permitiu observar que a extensão das áreas vulneráveis tende a aumentar e que os planos de gestão costeira dos municípios devem abordar a questão de inundação para que se possa mitigar as consequências deste processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inundação costeira. Modelo digital de elevação. Elevação do nível do mar. Gestão costeira.

#### ABSTRACT

One of the consequences of sea level rise is the predisposition of the population and the ecosystem to coastal flooding. The vulnerability can cause distinct impacts depending on the elevation of the terrain and the extent of the occupied area. Imbé and Tramandaí located on the northern coast of RS are two municipalities that present low elevation and densely occupied area. A bathtub model was created from topographic data to determine flood levels. Seven sea level rise scenarios were considered, based on a set of extreme marine events recorded in the study area,

resulting from the sum of the following variables: tidal and sub-tidal oscillation, and wave runup. In addition to the current sea conditions, future projections of sea level variation were incorporated in this analysis according to the IPCC. The lowest level of elevation of the level was 2.07 m and the highest of 4,33 m. The maps generated made it possible to describe the vulnerability to sea level rise, as well as to recognize the sites with the largest flood levels. The analysis of the results showed that the extent of vulnerable areas will increase with time and that the coastal management plans of the municipalities should address the issue of flooding in order to mitigate the consequences of possible flooding.

**KEYWORDS:** Coastal flood. Digital elevation model. Sea level rise. Coastal management.

## Introdução

Cerca de 600 milhões de pessoas vivem na zona costeira com elevação abaixo de 10 metros, estando vulneráveis aos efeitos da subida do nível do mar (NM) e aos eventos de mudanças climáticas (Mcgranahan *et al.*, 2007). Em termos de distância, 23% da população mundial reside em uma estreita faixa de 100 km do mar (Small e Nicholls, 2003).

Assim, qualquer mudança que ocorra nos oceanos afetará de alguma forma estes ambientes e a população residente nestas áreas. A inundação pode ser uma das consequências desta elevação (Nicholls *et al.*, 1999; Church *et al.*, 2013; Cooper *et al.*, 2013; Anderson *et al.*, 2018;), podendo causar imensos prejuízos, inclusive irreversíveis, como a perda de ecossistemas, de habitats, bem como de vidas humanas e animais e danos a infraestruturas (Gornitz, 1991; Nicholls e Cazenave, 2010).

As frequências e proporções das inundações podem ser agravadas com a intensificação de alguns fenômenos meteorológicos como aumento nas taxas de precipitação, ocorrência de marés meteorológicas, aumento do *run-up*, dentre outros (Diez *et al.*, 2011), sendo um grande desafio prever estes eventos, e, cujos efeitos estão relacionados a uma dada probabilidade de ocorrência (Bonetti *et al.*, 2013).

No Brasil 60% da população reside nas áreas costeiras (PBMC, 2016) e, ainda assim, as pesquisas relacionadas à inundações costeiras são escassas sendo que deveriam ter um maior incentivo. Principalmente no litoral sul do país, cujo estado do Rio Grande do Sul (RS) é uma das áreas mais suscetíveis e vulneráveis à subida do mar, isto por ser uma planície costeira extensa, de baixa declividade e em meio a um sistema complexo de lagoas costeiras (Horn Filho *et al.*, 1988; Dillenburg *et al.*, 2016). Os municípios costeiros Imbé e Tramandaí, apresentam 19% da população

que vive no litoral norte do RS (IBGE, 2018). Os danos que esta intensa urbanização causa aos ecossistemas costeiros reduzem a capacidade de proteger a costa contra eventos extremos.

As elevações do nível d'água consideradas neste estudo consistem na soma das oscilações mareais e sub-mareais. As primeiras são aquelas controladas pelas forças gravitacionais astronômicas e as segundas, também denominadas como ressacas, são geradas por fenômenos meteorológicos. O estudo do efeito do galgamento (*run-up*) é um dos importantes elementos para analisar a vulnerabilidade à erosões e inundações na costa, sendo composto de uma superelevação do nível médio da água causada pela quebra das ondas (*setup*) e de flutuações pelo espraiamento na pós praia (*swash*) (Holman e Sallenger, 1985). Ou seja, estes processos induzem uma sobre-elevação do nível da água no litoral (Battjes e Janssen, 1978).

Recentemente Vitousek *et al.* (2017) utilizaram modelagem numérica e diferentes cálculos para uma análise global das inundações costeiras nas próximas décadas devido ao aumento do NM, confirmando que um aumento de 10 a 20 cm até 2050 pode dobrar a frequência de eventos extremos, com prejuízos direto à economia e à habitabilidade. As mudanças à níveis locais podem diferir, por uma série de fatores, das mudanças de níveis globais, portanto para o planejamento e adaptação as avaliações localizadas devem ser críticas (Stammer *et al.*, 2013; Kopp *et al.*, 2014).

Um fator agravante no processo de inundação é o aumento do NMM (nível médio do mar). A partir de resultados de modelos climáticos globais, para 2100 se espera, em média, um aumento do NMM mínimo de 0,45 m, utilizando para tanto os dados do período de 1986 a 2005, com máximo em 0,82 m para o cenário mais pessimista (IPCC, 2014).

Seja hidrodinâmico, morfológico, ou ecológico, os impactos do aumento do NMM estão inter-relacionados e, assim, os gestores das zonas costeiras necessitam de informações e dados sobre estes efeitos potenciais para tomada de decisões (Passeri *et al.*, 2015). Para Barragán (2014) duas questões principais devem ser integradas na gestão costeira: a manutenção do bem-estar mútuo entre a sociedade e as áreas costeiras a longo prazo e, a adoção de um modelo de governança para se alcançar o proposto. Portanto, é momento de realizar uma gestão das zonas costeiras em união de órgãos governamentais, universidades, setores imobiliários e comunidade em geral.

Sendo assim no presente estudo foram selecionadas duas áreas na região costeira do RS que passaram por processos de evolução costeira parecidos, que possuem características oceanográficas, meteorológicas e geológicas muito semelhantes, porém apresentam diferenças com relação a ocupação e proteção costeira. Ao observar alguns eventos extremos de mar ocorridos na região de estudo ficaram estabelecidas as seguintes indagações: Que áreas estão sujeitas a inundações? Como o aumento do NM pode afetar a população dos municípios de Tramandaí e Imbé? Quais ecossistemas serão afetados?

Assim, com base no que foi exposto acima o presente artigo tem os seguintes objetivos: (1) identificar as áreas costeiras, no entorno da desembocadura da lagoa de Tramandaí, suscetíveis à inundação a partir do aumento do NM em somatório com outras variáveis; (2) realizar uma análise comparativa da inundação costeira entre Tramandaí e Imbé e (3) oferecer ferramentas e informações úteis para gestores costeiros.

## **2 Área de estudo, materiais e métodos**

### **2.1 Geologia, climatologia e oceanografia da área de estudo**

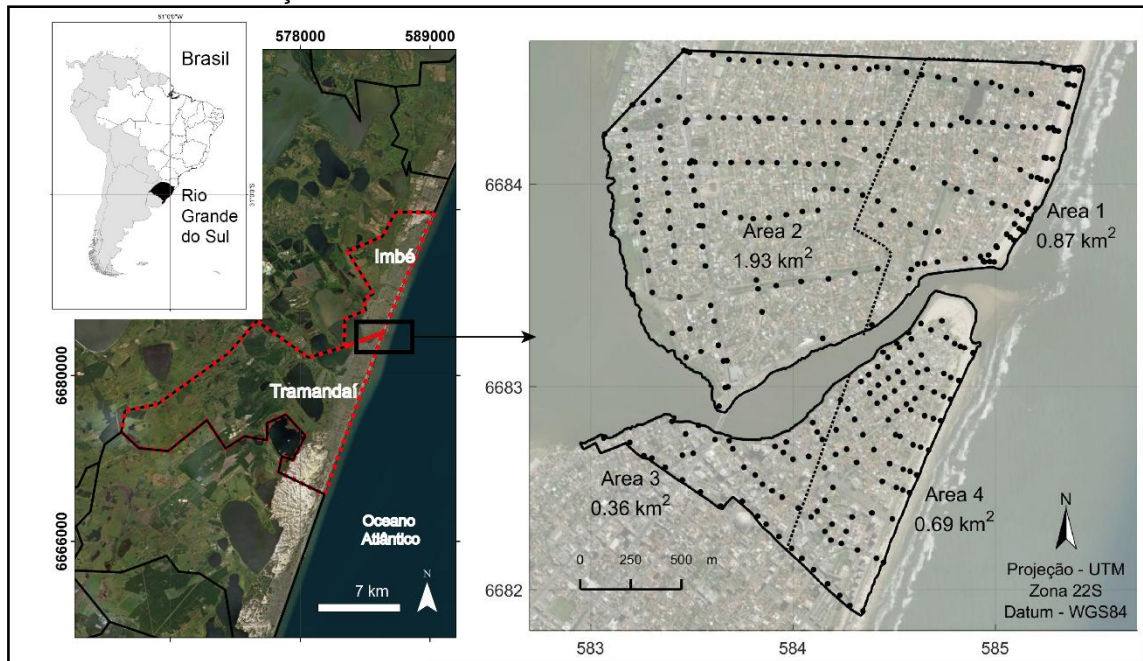
Os municípios de Imbé e Tramandaí estão localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul (RS), sul do Brasil (Figura 1), com orientação preferencial de NE-SW, se alongando por cerca de 23 km de costa, expostos a condições oceanográficas e meteorológicas de forte dinâmica, sujeitos a potencial risco de tempestades (Guimarães *et al.*, 2015) e assim estando suscetíveis à inundações costeiras e ressacas. Ambos delimitados por uma desembocadura lagunar, importante na drenagem de todo sistema hidrográfico costeiro, fixada por uma estrutura do tipo guia-corrente (Silva *et al.*, 2017).

Hoje a população estimada para Imbé gira em torno de 22.309 pessoas, com densidade demográfica de 448,53 hab/km<sup>2</sup> e, Tramandaí com 50.760 pessoas e densidade demográfica de 287,97 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2018). E, uma população flutuante de veranistas de 40.427 pessoas em Imbé e 48.181 pessoas em Tramandaí (FEE, 2016).

Na região, o clima é subtropical úmido. Os ventos são controlados pelos sistemas de altas pressões tropicais e polares do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS) e do Anticiclone Polar Migratório (ATM) induzindo maior incidência dos ventos

do quadrante nordeste entre os meses de setembro a março, e os ventos de sudoeste entre abril e agosto (Nimer, 1979).

**Figura 1.** Localização dos municípios de Imbé e Tramandaí, separados pelo canal lagunar da Lagoa de Tramandaí e a delimitação das áreas 1 a 4.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Davies (1980) classifica a costa do RS como do tipo micromarés, com amplitude média de 0,25 m, podendo alcançar 1,20 m em uma maré meteorológica (Almeida *et al.*, 1997). As ondulações que incidem sobre a costa do RS são geradas no oceano Atlântico sul e as vagas são provenientes de NE geradas pelos fortes ventos locais de verão e primavera. As ondas possuem direção predominante de SE e se caracterizam por energia de média a elevada, com altura significativa de 1,5 m e período entre 7 e 9 s (Almeida *et al.*, 1997). Conseqüentemente, o transporte e a deposição dos sedimentos ao longo da costa são dominados pela ação das ondas. Durante eventos de tempestade, a altura de onda em águas rasas pode exceder 2,5 m de altura com período de pico de 14 s (Guimarães *et al.*, 2014). A profundidade de fechamento estimada é de 7,5 m (Toldo *et al.*, 2006).

Para avaliar o impacto da onda de tempestade sobre a costa de Imbé e Tramandaí, Guimarães *et al.* (2015) realizaram o cálculo do galgamento. Através do uso de modelos numéricos e medidas em campo concluíram que durante eventos de tempestade ocorrem inundações em diversos locais em ambos municípios.

Toldo *et al.* (1993) classificaram, em relação à morfodinâmica, a praia de Imbé como praia intermediária a dissipativa e a praia de Tramandaí como dissipativa. Os

sedimentos compreendem tamanho médio areia fina com extensa pós-praia, plana com baixa declividade.

É possível observar a preservação das dunas frontais em Tramandaí, fato que não ocorre em Imbé, no trecho de praia analisado neste estudo, onde sobre o sistema de dunas se encontram estruturas antrópicas, como implantação de avenida beira-mar e calçada.

## 2.2 Materiais e métodos

As projeções de aumento do NM se utilizam, principalmente, de dados de processos hidrodinâmicos. A metodologia descrita a seguir assume os dados mais críticos encontrados em processos regionais atuais quanto de possibilidades globais futuras, em vista de que no mínimo, com maior ocorrência de eventos extremos é possível ocorrer estes cenários de elevação do NM. A área de estudo foi separada por município para realização de descrição comparativa, bem como em quatro áreas para diferenciar os métodos aplicados.

### 2.2.1 Aquisição dos dados

#### 2.2.1.1 Dados topográficos - Método GNSS

Para se obter os dados topográficos da área de estudo foi realizado um levantamento de campo entre os dias 3 e 5 de maio de 2016. A coleta foi executada utilizando o método GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Para a geração do DEM os dados foram coletados utilizando um Receptor Geodésico de dupla frequência da marca Topcon Hiper Lite, método estático rápido. A qualidade dos dados, e conseqüentemente a exatidão das coordenadas são afetadas pelo tipo de receptor, método e tempo de rastreamento e distância à base. A tolerância estabelecida necessária para a finalidade deste trabalho foi definida em 0,10 m.

Um receptor base foi posicionado no marco geodésico do Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos (CECLIMAR/ UFRGS/ Imbé). O transporte de coordenadas planialtimétricas para este marco foi executado utilizando a estação POAL (Porto Alegre/ Departamento de Geodésia/ UFRGS). Foram medidas três séries de quatro horas cada uma, e a exatidão obtida foi de aproximadamente 0,021m.

A linha contínua branca (ver Figura 1) indica a área de estudo coletada pelo método GNSS e, corresponde a uma área de 2,8 km<sup>2</sup> no município de Imbé (dividida em área 1 e 2) e 1,05 km<sup>2</sup> em Tramandaí (dividida em área 3 e 4). Os pontos escolhidos (ver Figura 1) para determinação das coordenadas foram preferencialmente os locais das ruas que continham bueiros, esquinas e outros pontos notáveis, sendo cada um rastreado por no mínimo 2 minutos, com taxa de rastreamento de 1 segundo.

Posteriormente, os dados foram transferidos dos receptores para uma estação de trabalho e processados. Cada coordenada foi obtida utilizando o ajustamento de observações pelo método MMQ (Método dos Mínimos Quadrados). O programa utilizado foi o TOPCON TOOLS Versão 8.2. Todo o trabalho foi referenciado ao Sistema Geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), e a projeção cartográfica utilizada foi a UTM (*Universal Transversa de Mercator*), fuso 22.

Para se transformar a altitude geométrica em ortométrica foi utilizada a Equação 1 descrita abaixo:

$$H = N - h \quad (1)$$

onde  $h$  é a altitude geométrica (m),  $H$  é a altitude ortométrica (m) e  $N$  é a ondulação geoidal (m).

A ondulação geoidal ( $N$ ) de cada posição foi obtida através do modelo global MAPGEO (IBGE, 2015). A precisão do método para determinação das coordenadas dos pontos utilizados foi de 0,03 m.

### 2.2.1.2 Dados LIDAR

Em julho de 2010, no litoral norte do RS foram obtidos os dados brutos a partir de um levantamento com equipamento de varredura LIDAR (*Light Detection And Ranging*) executado pela empresa LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento). O recobrimento LIDAR ocorreu com altura de voo de 1000 m, com um ângulo de abertura de 20° e densidade de 2 pontos por m<sup>2</sup> (Vianna e Calliari, 2015). Os arquivos XYZ (projetados em UTM, referenciados ao sistema SIRGAS 2000 com altitudes referenciadas ao elipsoide) foram processados no software ALDPAT versão 1.0 e posteriormente foram produzidos Modelos Digitais de Superfície (MDS)



que passaram por processo de conversão de altitudes geométricas para ortométrica, referenciadas ao geóide. Os autores acima citados disponibilizaram os arquivos para o presente trabalho. A linha tracejada branca (ver Figura 1) indica a área de estudo coberta pela extensão do conjunto de dados LIDAR utilizada neste artigo, sendo de 0,87 km<sup>2</sup> a área coberta no município de Imbé (área 1) e 0,69 km<sup>2</sup> em Tramandaí (área 4).

### 2.2.1.3 Integração dos dados GNSS e LIDAR

O LIDAR é uma excelente ferramenta para análises sobre inundação costeira (Webster *et al.*, 2004; Raji *et al.*, 2011) e, por este motivo, embora não cobrindo toda área de estudo (cobre apenas a faixa mais costeira), optamos em utilizar estes dados e, assim, realizar a complementação dos dados GNSS.

Para ilustrar os cenários de inundação se optou por representar os métodos de forma diferenciada. O nível do mar no método LIDAR foi representado através de *buffer* (“manchas coloridas”). No método GNSS o aumento do nível se deu na forma de pontos, demonstrando exatamente o nível de elevação no ponto coletado. Pelo fato dos dados coletados estarem muito distanciados um do outro (no método GNSS) não obtivemos sucesso com a tentativa de interpolação, sendo assim as figuras na forma de *buffer* representariam falsas inundações.

### 2.2.2 Definição dos cenários de inundação

Para determinação da cota de inundação a serem mapeadas foram definidas duas condições principais divididas em cenários. Na primeira condição utilizamos dados de eventos extremos, com as condições atmosféricas e oceânicas atuais, extraídos de Guimarães *et al.* (2015). Os autores utilizaram os modelos WaveWatch III, SWAN e SWASH para modelar as ondas na região de Tramandaí. A partir dos dados dos modelos e com a utilização de estimativa empírica calcularam a amplitude vertical deste processo (*wave runup*).

Na segunda condição consideramos projeções futuras cujos dados foram retirados do quinto relatório de avaliação (AR5) do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (IPCC, 2013). Se fez a opção pelo RCP8.5 (*Representative Concentration Pathways*) cujos valores de subida do nível do mar para um cenário otimista e pessimista são 0,28 m e 0,98 m, respectivamente, até o ano de 2100.

A partir disso os cenários de inundação foram criados, sendo que cada um corresponde a uma cota de inundação calculada (Tabela 1). A realização dos cálculos para se obter as cotas foi feita através da soma de níveis médios de água selecionados e das variáveis escolhidas, como galgamento e projeções futuras do nível médio do mar apresentadas pelo IPCC (2013) a partir das mudanças climáticas (Equação 2).

$$CI = NA + ENA + G \quad (2)$$

onde CI corresponde a cota de inundação (m), NA ao nível d'água de referência (m), ENA a elevação do nível d'água (m) e G ao galgamento (m).

**Tabela 1.** Valores utilizados para obtenção das cotas de inundação (\* De acordo com IPCC (2013). \*\* De acordo com Guimarães et al. 2015).

Condição	Cenários	Nível Médio do Mar (m) *	Elevação do Nível d'Água(m) **	Galgamento (m) **	Cota de Inundação (m) **
<b>Atual</b>	1	0	0,71	1,36	2,07
	2	0	0,76	1,65	2,41
	3	0	0,83	1,83	2,66
	4	0	0,84	2,04	2,88
	5	0	1,38	1,97	3,35
<b>Futuro otimista</b>	6	0,28	1,38	1,97	3,63
<b>Futuro pessimista</b>	7	0,98	1,38	1,97	4,33

Fonte: Adaptado de Guimarães *et al.* (2015).

Os valores das cotas de inundação foram sobrepostos ao DEM para comparação das cotas altimétricas e observação das potenciais áreas de inundação costeira. Para criação dos mapas de inundação uma imagem do software *Google Earth®* foi sobreposta ao DEM facilitando a visualização e a compreensão das possíveis áreas a serem inundadas.

O modelo utilizado para representar as inundações no presente trabalho é considerado um “modelo banheira” ou “modelo de inundação” baseado em GIS (*Geographic Information System*) podendo ser definido como a projeção de uma superfície de inundação em um DEM, sendo fácil de implementar e fornece a especificidade espacial necessária (Anderson *et al.*, 2018).

Este tipo de modelo - modelagem por inundação estática ou método estático - é uma alternativa simples para mapeamento de inundação costeira à modelagem hidrodinâmica, pois simplesmente se baseia em uma comparação de nível da água até a elevação do solo. A suposição é que a terra abaixo do nível do oceano é inundada instantaneamente e requer apenas o uso de um (DEM) representando o terreno da área de interesse (Gallien *et al.*, 2014).

A descrição de cada cenário será apresentada de acordo com cada cota de elevação encontrada, bem como dividida nas quatro áreas citadas acima (ver Figura 1) para que possamos descrever com maior exatidão as particularidades de cada local.

### 2.2.3 Comparação dos cenários de inundação entre Imbé e Tramandaí

Ambos os municípios, Imbé e Tramandaí, possuem similaridades em relação à baixa topografia, intensa urbanização e aspectos econômicos (turismo, pesca, comércios, etc.), porém apresentam algumas diferenças em termos de tipo de ocupação (Tramandaí apresenta maior verticalização), estruturas construídas (Imbé apresenta guia-corrente na margem esquerda do canal de Tramandaí) e proteção de ambientes naturais (Tramandaí apresenta dunas frontais preservadas). Desta maneira, os municípios supracitados foram comparados quanto a vulnerabilidade à inundação nos cenários modelados, de modo a se buscar padrões espaciais na área de estudo em relação à distintos níveis de inundação.

Inicialmente, os resultados das cotas de inundação foram plotados em *Box - Plots* para a comparação gráfica entre as áreas. Na sequência, o conjunto de dados gerado para cada cenário de modelagem foi avaliado quanto às premissas para testes estatísticos paramétricos. A normalidade e a homocedasticidade foram analisadas pelos testes de Shapiro-Wilk e de Bartlett, respectivamente (Zar, 2009). Decorrente dos dados não satisfazerem as premissas testadas, se selecionou o teste não paramétrico de Wilcoxon com graus de liberdade de  $n-1$  e nível de significância de 0,05 (Zar, 2009) para a comparação das cotas de inundação entre os municípios.

## 3 Resultados

### 3.1 Identificação das áreas vulneráveis à inundação

Aqui ressaltamos que as cotas de inundação foram sobrepostas às cotas altimétricas do terreno, ou seja, a interação que possa existir entre a água e o sedimento ou, tipo de solo ou, estruturas rígidas não foi considerada. Tampouco foi avaliado os efeitos da água que podem ocorrer através do canal de Tramandaí.

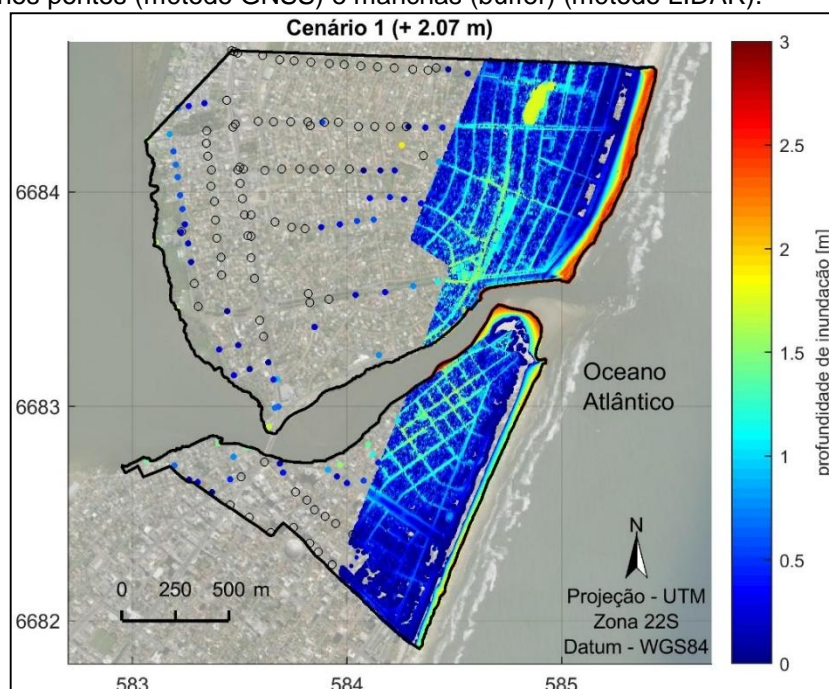
### 3.1.1 Aplicação dos cenários do modelo atual

Os resultados da elevação do NM, considerando as condições atmosféricas e oceânicas atuais, cujos dados foram extraídos de Guimarães *et al.* (2015), estão representados nos cenários 1 a 5 e seguem descritos abaixo. Os locais que apresentaram inundação costeira podem ser visualizados nas Figuras 2 a 4, representando cada cenário individualmente.

#### 3.1.1.1 Cenário 1 - Elevação do Nível do Mar em 2,07 m

Ao analisarmos a sobreposição dos dados podemos observar que a elevação do NM de 2,07 m foi suficiente para deixar o pós-praia submerso praticamente em toda a extensão das Áreas 1 e 4, salvo alguns trechos adjacentes ao muro do calçadão anexo à Avenida Beira Mar na Área 1 (Imbé), sendo que estes trechos foram identificados no método GNSS (Figura 2).

**Figura 2.** Imagem ilustrando elevação do nível do mar em 2,07 m. As cores representam o nível de inundação (m) nos pontos (método GNSS) e manchas (buffer) (método LIDAR).



Fonte: Elaborado pelos autores.

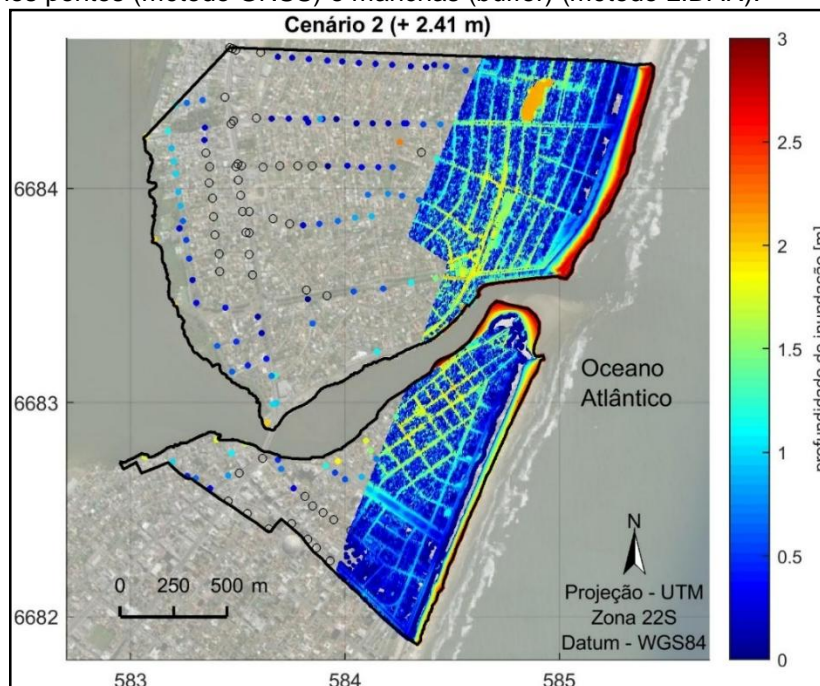
Ainda na mesma área foi possível perceber que todas as ruas, calçadas e praticamente todos os imóveis ficaram inundados. A Área 2 (Imbé) é a que apresenta maiores trechos com ruas, calçadas e imóveis salvos à inundação com esta cota.

Na Área 3 (Tramandaí) apenas nos arredores da Prefeitura Municipal não ocorrerá inundação dos imóveis. Na Área 4 (Tramandaí) as ruas, calçadas e imóveis sobre o pontal arenoso de Tramandaí (considerado aqui a partir da rua Ubatuba de Farias para o norte) ficaram alagados, com exceção de pequenos trechos ao norte e sul da Avenida Beira Mar, e sudoeste da área. As regiões situadas nas margens e adjacências da lagoa, em todas as quatro áreas ficam alagadas. Todo trecho de dunas apresenta nível topográfico superior a esta cota de elevação. Cerca de 61,63 % dos pontos levantados com o método GNSS, em toda área de estudo, apresentaram inundação com a cota de 2,07 m.

### 3.1.1.2 Cenário 2 - Elevação do Nível do Mar em 2,41 m

A Figura 3 ilustra a elevação do nível do mar de 2,41 m, o qual provoca inundação em toda porção do pós-praia e áreas adjacentes à praia e desembocadura na Área 1.

**Figura 3.** Imagem ilustrando elevação do nível do mar em 2,41 m. As cores representam o nível de inundação (m) nos pontos (método GNSS) e manchas (buffer) (método LIDAR).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Poucos pontos levantados com a metodologia GNSS apresentaram níveis topográficos superiores à esta cota nesta área e se situam principalmente sobre o calçadão. Na Área 2 praticamente todas as ruas ficaram inundadas, bem como todos os imóveis ficam vulneráveis à inundação costeira, com exceção da Avenida Paraguassu e adjacências e, rua Santa Maria.

Na  rea 3 as regiões que se apresentam inundadas com esta cota são semelhantes a eleva o anterior. Na  rea 4 se pode perceber pequenos pontos no norte e no sul da Avenida Beira Mar que não ficam inundados. Cerca de 75,23 % dos pontos levantados com o método GNSS, em toda área de estudo, apresentaram inunda o com a cota de 2,41 m.

#### 3.1.1.3 Cenário 3 - Eleva o do Nível do Mar em 2,66 m

Com a cota de inunda o de 2,66 m apenas a partir da metodologia GNSS foi possível de se constatar pontos com cotas acima deste valor na área 1 que não estariam cobertas pela inunda o sendo localizadas na região do calçadão. Na  rea 2 destacamos ausência da inunda o nos locais similares aos citados na cota anterior. Na  rea 3 se percebe inunda o em um maior trecho próximo   prefeitura Municipal de Tramandaí e na área 4 apenas a região superior das dunas não se apresenta inundada. Cerca de 82,17 % dos pontos levantados com o método GNSS, em toda área de estudo, apresentaram inunda o com a cota de 2,66 m.

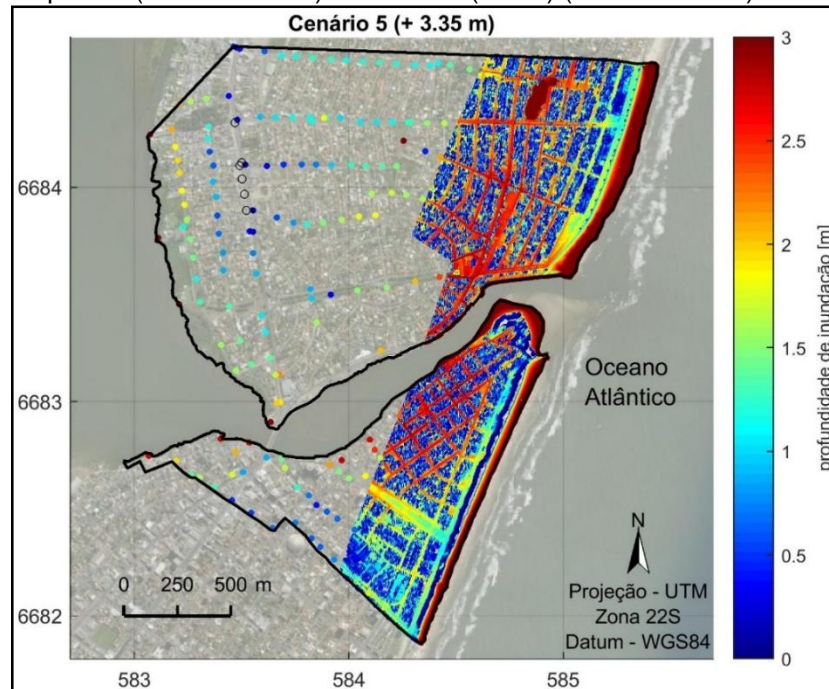
#### 3.1.1.4 Cenário 4 - Eleva o do Nível do Mar em 2,88 m

Na eleva o do nível do mar de 2,88 m se visualiza toda área 1 inundada (novamente destacamos que apenas ao comparar o método GNSS   que se observam pontos com altimetria superior a esta presente cota). Na  rea 2 praticamente todas as ruas, calçadas e imóveis se apresentam inundados com poucos trechos na Avenida Paraguassu livres desta inunda o. A  rea 3, levantada, se encontra toda inundada. Já na área 4 apenas a porção superior das dunas se apresentam escapes   inunda o. Cerca de 89,12 % dos pontos levantados com o método GNSS, em toda área de estudo, apresentaram inunda o com a cota de 2,88 m.

#### 3.1.1.5 Cenário 5 - Eleva o do Nível do Mar em 3,35 m

Na Área 1 com a elevação do nível do mar em 3,35 m se observa inundação em toda área (Figura 4). Na Área 2 apenas 6 pontos topográficos apresentam cota acima deste valor. Ambas as Áreas 3 e 4 ficam totalmente inundadas exceto a porção superior das dunas na Área 4. Cerca de 94,86 % dos pontos levantados com o método GNSS, em toda área de estudo, apresentaram inundação com a cota de 3,35 m.

**Figura 4.** Imagem ilustrando elevação do nível do mar em 3,35 m. As cores representam o nível de inundação (m) nos pontos (método GNSS) e manchas (buffer) (método LIDAR).



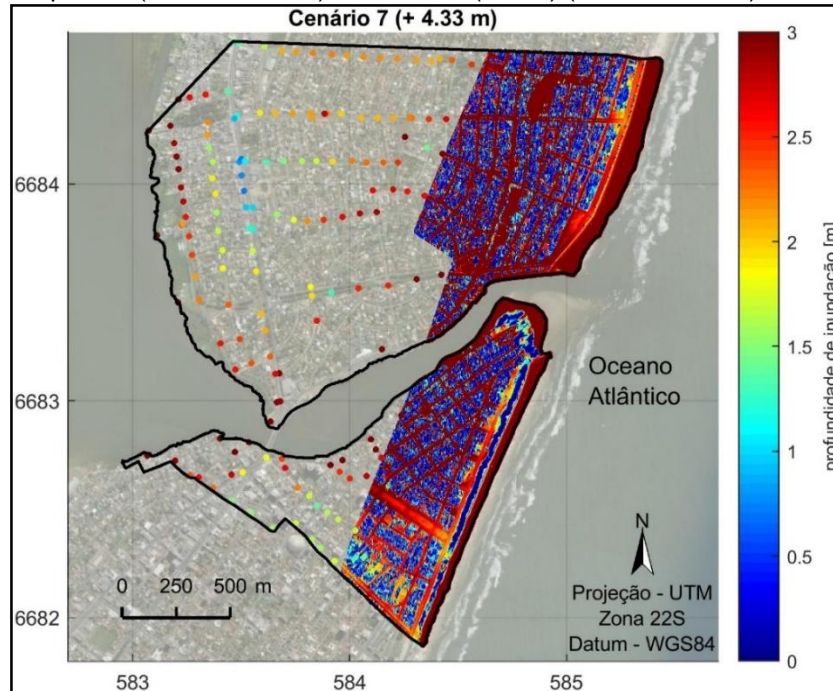
Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.1.2 Aplicação dos cenários do modelo com as mudanças climáticas

A partir da análise dos dados foi possível observar que a elevação do nível do mar de ambos os cenários 6 e 7 apresentaram os mesmos resultados em termos de extensão de inundação, ou seja, tanto a cota de 3,63 m quanto de 4,33 m deixam todas as Áreas 1, 2 e 3 inundadas e, na Área 4 apenas o trecho da porção superior das dunas não apresenta inundação. Cerca de 97,28 % dos pontos levantados com o método GNSS, em toda área de estudo, apresentaram inundação com ambas as cotas.

A Figura 5 apresenta a inundação costeira que ocorre no cenário 7 no qual foram consideradas as condições futuras atmosféricas e oceânicas, projetadas de acordo com o IPCC (2013), até o ano de 2100, somada às demais variáveis escolhidas conforme a Tabela 1.

**Figura 5.** Imagem ilustrando elevação do nível do mar em 4,33 m. As cores representam o nível de inundação (m) nos pontos (método GNSS) e manchas (buffer) (método LIDAR).



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.2 Comparação dos cenários de inundação entre Tramandaí e Imbé

A comparação estatística entre os municípios indicou que houve diferenças significativas para todos os cenários modelados, ou seja, as áreas diferem substancialmente em relação às cotas de inundação.

A análise da comparação gráfica entre as cotas de inundação geradas pelos modelos para as cidades de Imbé e Tramandaí (Figura 6) possibilitou identificar que em todos os cenários o nível de inundação foi maior na cidade de Tramandaí. Além disto, nota-se também uma maior heterogeneidade nos valores das cotas de inundação gerados para Tramandaí, indicando uma maior variância de inundação nos pontos que a compõem. Outra informação extraída da comparação gráfica foi que em cenários mais críticos, como por exemplo de 5 até 7, há uma menor variância dos resultados das cotas de inundação para ambos os municípios, indicando que para estes cenários os níveis de inundação afetam quase a totalidade da área de estudo.

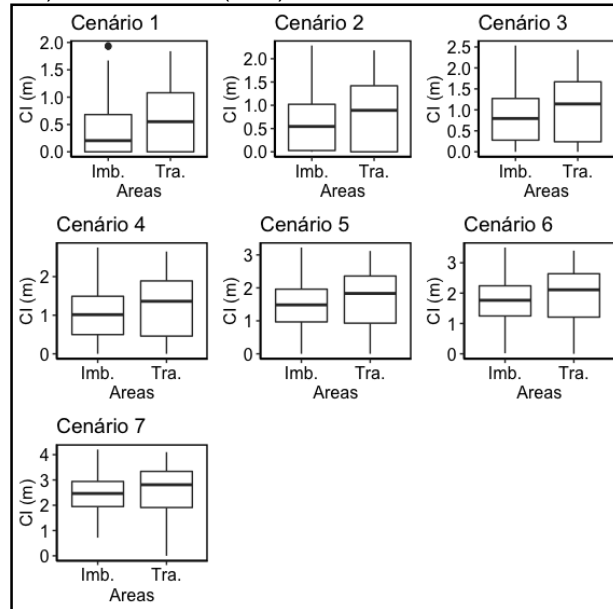
## 4 Discussão

A presente análise multidisciplinar de inundações costeiras difere da maioria das outras pesquisas em termos (1) dois métodos de aquisição de dados topográficos



(GNSS e LIDAR) e (2) comparação entre dois municípios separados por uma desembocadura, beneficiando as observações da extensão de inundação para futuras possíveis decisões de gestão costeira.

**Figura 6.** Box-Plot dos valores das cotas de inundação (CI) nos diferentes cenários modelados para os municípios de Imbé (Imb.) e Tramandaí (Tra.).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Através de mapas de inundação elucidamos as possíveis áreas a serem afetadas com diferentes taxas de elevação do NM. A determinação das áreas vulneráveis à inundação foi baseada em informações topográficas, onde as áreas inferiores ao NM teórico à elevação foram inundadas, partindo do pressuposto que a representatividade dos mapas de inundação depende da qualidade dos dados utilizados e da aplicação da metodologia adequada (Raji *et al.*, 2011).

#### 4.1 Avaliação da vulnerabilidade das áreas submetidas à inundação

No presente estudo, a união dos dados topográficos de alta resolução do LIDAR em conjunto com o método GNSS permitiram obter um modelo de inundação realista, e também, a avaliação de impactos potenciais (Gesch, 2009). Os dados de elevação do terreno obtidos com LIDAR foram de elevada qualidade para identificar e delinear determinadas áreas vulneráveis à subida do NM, fato igualmente observado por Heberger *et al.* (2009), Wadey *et al.* (2015) e Gallien (2016).

Diferenças encontradas entre os dois métodos foram ínfimas e isso pode ter ocorrido devido à distância obtida entre os pontos serem diferentes nos métodos.

Outra pequena diferença poderia ocorrer devido a data de coleta dos dados serem diferentes. A topografia do LIDAR foi realizada em julho de 2010 (Vianna e Calliari, 2015) e, a do método GNSS em maio de 2016, talvez refletindo elevações do solo mais recentes.

A aplicação das cotas de inundação, na qual utilizamos dados de galgamento (*runup*) pela fórmula de Stockdon *et al.* (2006) (Guimarães *et al.*, 2015) também foi utilizada por Gallien (2016) para avaliar a vulnerabilidade à inundação costeira na Califórnia, sendo uma das medidas centrais para os esforços de mapeamento de inundação. Nossos resultados mostram que uma elevação de 2,07 m (cenário 1) é suficiente para inundar grande parte das ruas, calçadas e imóveis de ambos os municípios, além de deixar toda a infraestrutura disponível vulnerável a este processo. Takagi *et al.* (2016) citam que uma área inundada a uma profundidade de 1 m ou mais pode ser considerada perigosa, sendo esperados danos substanciais nos assentamentos humanos e seus habitantes.

Esta cota de elevação representada no cenário 1 poderá também penetrar através dos bueiros e sistemas de esgoto e introduzir ainda mais água salgada nas áreas urbanas. Os maiores impactos são observados na região do pontal arenoso de Tramandaí (Área 4), bem como nas residências das margens da lagoa e na Área 1. Guimarães *et al.* (2015) demonstraram inundação nas mesmas áreas com valores de cota de inundação menores que 2,07 m citando ainda que a Área 1 seria a mais vulnerável a processos de *overtopping* visto que não apresenta região de dunas, sendo este resultado coincidente com a presente pesquisa. Maiores inundações em áreas de maiores perdas sedimentares também foram encontradas por Gagliardi (2013) na desembocadura de Cananéia (SP), sendo áreas que primeiro sofreriam inundação.

Com a diferença da cota de inundação entre o cenário 1 e 5 observamos um aumento pronunciado em número de propriedades impactadas, o que também pode ocasionar problemas na rede de esgoto e drenagem, além de que as estradas ao redor do centro da cidade se tornariam intransitáveis (0,3 m de água corrente é capaz de mover um carro médio (Wadey *et al.*, 2015)). Toda esta região não foi privilegiada com os processos geológicos que ocorreram em sua formação e evolução tornando-a suscetível à inundação por ter baixa altimetria e, continuou com a falta de privilégio, pois a população não conheceu seus processos para ocupar ficando assim expostas à este risco.

## 4.2 Diferenças entre Imbé e Tramandaí

Tramandaí apresentou um maior nível de inundação o que nos indica ser uma região com relevo menor que Imbé, sendo o pontal de Tramandaí (ignorando as dunas e as margens da lagoa) a região mais baixa de toda área da pesquisa. Isto pode ser devido ao fato de que esta região era estuarina até a ocupação se adensar sobre este ambiente. Já em Imbé, as áreas com menores níveis topográficos se situam na região do Braço Morto. A ocupação que ali se estabeleceu se encontra vulnerável por estar sobre uma região baixa, área de um antigo canal.

Com a cota de inundação do cenário 1 praticamente 57% e 70%, respectivamente, de Imbé e Tramandaí apresentam inundações, ou seja, com a menor cota de inundação aqui testada temos uma alta vulnerabilidade na área. Ao analisarmos os cenários 5 a 7 percebemos que praticamente toda região de estudo fica inundada exceto as porções superiores das dunas em Tramandaí. Em Imbé, todo o sistema de dunas foi removido para construção da Avenida Beira Mar e calçadão na década de 1980. Na região do pós praia neste município não encontramos presença de dunas frontais, mas se pode encontrar acúmulos de sedimentos trazidos pelo vento nordeste e se fixando em algum obstáculo, porém eventualmente a Prefeitura realiza a remoção deste material. Nosso modelo não nos permite afirmar que Tramandaí estaria mais protegido por manter seu sistema de dunas preservado, embora mencionado por Guimarães *et al.* (2015). Hesp (1988) e Larson *et al.* (2004) citam as dunas como função de proteção costeira, fato comprovado por Martelo e Nicolodi (2018) na praia do Mar Grosso (RS).

A inundação que observamos nos cenários 1 a 7, além das implicações já citadas anteriormente, pode afetar a economia de ambos os municípios, como por exemplo, em Imbé junto a margem fixada existe um terminal marítimo da Petrobrás, que também ficaria prejudicado, bem como ocorreriam mudanças na desembocadura modificando as atividades dos pescadores.

A praia de Imbé, sendo oceânica urbana e fixada por muros e calçadão, além de possuir pouco espaço para os processos morfodinâmicos acontecerem, não tem como se ajustar por meio de retrogradação. Tramandaí por não estar fixada por obstáculos rígidos poderá se ajustar, mesmo que por poucos metros (urbanização ocorre atrás do sistema de dunas). Imbé fica defronte às primeiras reações do mar, com ocorrência de galgamento sobre as estruturas construídas na orla (Guimarães *et al.*, 2015), fato também observado no Rio de Janeiro (Mandarino e Arueira,

2012) e na praia do Hermenegildo (RS) (Maia *et al.*, 2016). Além do galgamento, eventos ocasionados por marés de sizígia podem provocar “afogamento” das galerias de águas pluviais, o que gera inundações em áreas baixas como no pontal de Tramandaí já identificadas *in situ* pelos presentes autores.

Tramandaí, como mencionado anteriormente é mais verticalizada que Imbé aumentando assim a magnitude do impacto causado pelas inundações costeiras, fato também mencionado por Costa *et al.* (2010) em Jaboatão dos Guararapes (PE). Em Imbé, o novo Plano Diretor liberou a verticalização. Assim, para o impacto ser reduzido, se faz necessário o conhecimento da possibilidade de inundações costeiras para que a legislação se adapte de forma possível a mitigar a inundação (Allender e Sutrisna, 2014). O desenvolvimento da ocupação na região poderia ter sido planejado e mais recentemente o Plano Diretor poderia conversar com a legislação do gerenciamento costeiro (Lei nº. 7661/88), mas não foi isso que percebemos. E isso tende a agravar o processo de inundação nesses dois municípios.

Observamos também uma maior concentração da ocupação justamente ao longo das margens do canal de Tramandaí, ficando essas construções suscetíveis a possíveis danos de inundação e contrapondo a Lei nº. 4771/65. A não ocupação destas áreas auxiliaria principalmente na diminuição de sua vulnerabilidade. As propriedades localizadas sobre o aterro de áreas de banhados e nas adjacências, em ambos os municípios, principalmente em toda região do Braço Morto (Imbé) se tornam mais suscetíveis se considerarmos o aumento de nível de água através do lençol freático, por serem áreas mais baixas.

Se pensarmos que possivelmente o nível do mar já esteve de 2 a 5 m acima do atual (Dillenburg *et al.*, 2006) será que a partir deste conhecimento teríamos um cuidado para estabelecer uma ocupação em determinada área por saber até onde a elevação do mar já se estendeu? Passos *et al.* (2018) ao analisarem uma possível variação do NM em Mangaratiba (RJ) sugerem ser essencial conhecer a evolução passada do nível do mar, a fim de determinar a tendência evolutiva da região considerada.

Após este enfoque na inundação costeira e por perceber que pode ser apenas uma das implicações das mudanças climáticas fica visível a necessidade de mudanças no estilo de vida e na visão de como estamos utilizando os recursos naturais.

O Brasil, mesmo apresentando 8,8 km de costa estando sujeito a diversos impactos das mudanças climáticas e grande parte de sua economia advir de bases

econômicas costeiras não apresenta nenhum programa atualmente sobre este assunto. Em 2011 ocorreu um encontro de especialistas para elaboração do Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1) do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). As sociedades sempre dependeram do clima, mas apenas agora estão compreendendo que este depende das ações sociais, as quais deverão ser bem administradas para não comprometer o bem-estar das gerações atual e futuras; o planeta estará, em média, mais quente e seus impactos serão sentidos por todos (PBMC, 2014).

As zonas costeiras com baixa declividade e descaracterização dos ecossistemas naturais tem a tendência de serem mais vulneráveis à inundações costeiras, seja ela por eventos atmosféricos pontuais ou por mudanças climáticas futuras. A importância de se conhecer a dinâmica de um ambiente, seu funcionamento ao longo de anos e identificar as áreas vulneráveis a possíveis inundações devido à elevação do NM se faz necessário para uma eficiente gestão costeira, pois assim haverá uma melhor distribuição da ocupação, uma maior segurança para estas comunidades e uma maior proteção para os ecossistemas devido toda sua importância ecológica. Com uma melhor organização do espaço, através dos órgãos governamentais, como o gerenciamento costeiro (GERCO), ou o Plano Diretor dos municípios, se evitam maiores prejuízos no futuro.

Ainda, não se observa uma vontade política, talvez por questões de especulação imobiliária, em melhor proteger a zona costeira, por ser esta área uma das principais oportunidades de desenvolvimento, como o caso de muitas regiões costeiras (Idlallene e Cauwenbergh, 2016).

Acreditamos que a maior parte da população que reside nessas regiões costeiras nunca pararam pra pensar sobre uma possível subida do mar, ou se pensam, provavelmente acreditam estar muito distante do tempo presente. Então pra que se preocupar? Quando algo está distante dos olhos, não damos a devida importância e, não diferente é o caso das inundações que acontecem na zona costeira. Existe falta geral de conscientização, ou pior, completo mal-entendido, o que prejudica a disposição do público em participar ou apoiar os esforços de adaptação e o fato de que as pessoas geralmente resistem a fazer mudanças comportamentais desconfortáveis (Lieske *et al.*, 2014).

Independentemente do nível de inundações previsto é necessário planejarmos esses riscos e desenvolver medidas que minimizem o nível de danos incorridos (Hansson *et al.*, 2007) para que diminuam os ecossistemas afetados, bem como as

estruturas antrópicas, o sistema de drenagem de água e a própria população. Tais medidas de gestão podem incluir programas de urbanização que limitam o desenvolvimento à zonas apropriadas, a restauração e reabilitação de ecossistemas deteriorados e a conservação dos ecossistemas ainda saudáveis (Martínez *et al.*, 2014).

Em outros países percebemos que é possível fazer uma gestão costeira consciente e integrada para que evitemos maiores danos futuros. Como exemplo Wadey *et al.* (2015) construíram simulações de inundações em Yarmouth, na qual a visualização contribui muito para o engajamento da comunidade. Já nos Estados Unidos da América existe uma plataforma de pesquisa (FEMA, 2018) aonde a comunidade em geral pode visualizar mapas interativos de inundações e obter diversas informações. Assim, ao decidir adotar a opção "não fazer nada", os gestores costeiros, os tomadores de decisões políticas e empresas costeiras devem ser capazes de avaliar os impactos ecológicos, inundações da água do mar e as implicações socioeconômicas (Hoggart *et al.*, 2014).

É importante ressaltar que o “modelo banheira” utilizado nesta pesquisa pode ignorar áreas possíveis de serem inundadas (Anderson *et al.*, 2018), subestimar os valores de inundações por não simular os efeitos de atenuação do fluxo devido à vegetação, bueiros, etc. (Rodriguez *et al.*, 2017), bem como superestimar os valores de inundações, fato encontrado por Gallien *et al.* (2014) ao analisarem a extensão de inundações coletadas após o evento de sobreposição de maré.

Reconhecemos a simplicidade deste modelo para identificação das áreas vulneráveis à inundações, apesar disso, conseguimos obter uma ideia sobre a área total que poderá ser inundada caso ocorra um evento de aumento do NM, bem como as áreas mais vulneráveis à determinadas cotas de inundações, corroborando com a ideia de Heberger *et al.* (2009) quanto a utilidade deste modelo estático para aumentar a conscientização sobre os impactos de longo prazo da elevação do NM.

Como entrada de variáveis nós utilizamos dados de processos hidrodinâmicos, porém outras informações importantes como tempo da inundações, tipo do solo, erosão costeira, avaliação na mudança da linha de costa, *overtopping*, *overwash* e entrada de água pelo canal não foram analisados. Tal abordagem não considera a conectividade hidrológica às células da grade oceânica próximas (Poulter e Halpin, 2007), o qual este conhecimento seria muito importante aja vista as ressacas que ocorrem na região, transpassando as estradas, bem como a presença da desembocadura lagunar, podendo aumentar o espelho d'água em toda a laguna.

Em resumo, esta pesquisa demonstrou eficácia na utilização de dados altimétricos para elaboração de mapas de inundação costeira com vista a visualização e determinação de áreas vulneráveis à elevação do nível do mar. Embora o modelo utilizado possua suas limitações e não aborde determinadas variáveis importantes no que tange a inundação, se mostrou eficaz para o objetivo do presente estudo e para utilização de futuros estudos e decisões costeiras.

## 5 Conclusões

Os municípios de Imbé e Tramandaí devido às suas configurações geológicas (zona costeira com exposição à dinâmica oceânica) e sua atual intensa ocupação (altas taxas de densidade demográfica), se apresentam como uma região altamente vulnerável a um aumento do NM. A topografia é um elemento chave à suscetibilidade dos processos físicos ativos que ocorrem ao longo da costa e seu conhecimento e representação na forma de modelos digitais de elevação fornecem um importante conjunto de dados para analisarmos a inundação costeira.

As inundações costeiras irão ocorrer quando da somatória de algumas variáveis como por exemplo, maré astronômica e galgamento. A partir da soma destas duas variáveis, com uma cota de inundação encontrada de 2,07 m aproximadamente 0,87 km<sup>2</sup> da área de Imbé e 0,69 km<sup>2</sup> de Tramandaí já são impactadas com alagamentos e, pode ocorrer inundação em praticamente 62% dos arredores da desembocadura de Tramandaí, incluindo ruas, calçadas e estruturas construídas, além dos ecossistemas ali presentes. Com uma cota de inundação de 3,35 m este valor aumenta para 95% e a inundação costeira impacta cerca de 2,8 km<sup>2</sup> do município de Imbé e, 1,05 km<sup>2</sup> de Tramandaí, ou seja, apenas a região do topo das dunas de Tramandaí ficam emersas.

Um evento meteorológico que pode ocorrer casualmente pode causar a mesma inundação e impactar diversas propriedades tanto quanto uma possível elevação do nível do mar daqui há 100 anos. Assim, uma cota de inundação de 3,35 m com condições atmosféricas e oceânicas atuais propiciam consideravelmente intensa inundação nas áreas do estudo quanto uma cota de 4,33 m projetada para um futuro aumento do NM.

Dados topográficos de alta qualidade como LIDAR permitem um avanço significativo no mapeamento das inundações costeiras em potencial. Integrados com medidas do método GNSS fornecem informações detalhadas e precisas da altimetria

de uma determinada região para aplicações críticas, como modelagem de elevação do nível do mar. O modelo de inundação aqui elaborado a partir desses dados e a representação dos cenários contribuiu para uma compreensão das áreas potenciais que podem ser direta ou indiretamente afetadas. Deste modo, a comparação entre as áreas se mostrou importante para podermos observar os pontos prioritários sujeitos a inundação costeira, bem como sua extensão.

A visualização das diferenças encontradas entre os municípios de Tramandaí e Imbé se faz necessária para que possamos perceber quais áreas da região estão mais suscetíveis, o quanto a verticalização de um local o torna mais vulnerável, bem como compreender que uma ocupação mal planejada e com descaracterização dos ecossistemas costeiros pode agravar a vulnerabilidade da comunidade que ocupou estes ambientes, além de extinguir espécies, de barrar as trocas naturais importantes e de maior exposição aos efeitos morfodinâmicos. Ou seja, qualquer um dos cenários de elevação do nível do mar afetará de alguma forma essas áreas, porém com variada distribuição espacial e com diferentes estruturas sendo atingidas.

De caráter urgente e alta relevância é a continuação no desenvolvimento de diversas ferramentas, entre elas as modelagens hidrodinâmicas que, associadas com pesquisas de cunho científico demonstram quais áreas costeiras devem ter maior atenção e assim, evitar maiores danos aos ecossistemas e população.

No Brasil ainda não existe nenhum plano estratégico sobre mitigação, nem adaptação. Esses planos poderiam auxiliar no retardo da degradação ambiental e na vulnerabilidade às inundações costeiras. Com certeza locais preservados, terão respostas diferentes devido às especificidades desse ecossistema, amortizando a vulnerabilidade. Também, a sociedade civil deveria ter uma maior participação e conhecimento, principalmente aqueles que provavelmente serão impactados, para conhecerem as possíveis ações que deverão ser tomadas para se adaptarem.

Por mais que ainda não ocorreram grandes inundações significativas na região desta pesquisa se faz necessário a tomada de consciência por parte do poder público para que aja um planejamento em termos de avaliação e mapeamento das áreas sujeitas a estes tipos de impactos e métodos precisos de mitigação. O poder público do RS deveria levantar esforços para desenvolver a legislação do GERCO - RS e, abordar em seu plano o problema ambiental e social da elevação do NM. As áreas que apresentam inundação com a menor cota aqui testada devem ser o primeiro foco dos futuros esforços de gestão. As imagens de inundação aqui elaboradas podem ser



um guia para priorizar ações de planejamento e tomar decisões para administrar de forma adaptável os impactos do aumento do NM.

Novas pesquisas são sugeridas no âmbito da modelagem hidrodinâmica, no qual crescente variáveis aqui não analisadas (acima citadas) tanto para comprovação das proteções à inundação costeira pela presença de dunas quanto com relação ao período de tempo necessário para uma área ficar inundada e poder levar à evacuação oportuna de pessoas (resposta); coletas de dados locais de séries temporais de observação (como mudança do nível do mar); cálculo das áreas potenciais de inundação e a valoração das estruturas que podem ser atingidas.

Agradecimentos. Os autores agradecem a Rafael Muller Petermann, João Henrique Quoos, Júlio de Oliveira Fernandes e José Carlos R. Nunes pelos auxílios prestados durante a elaboração desta pesquisa.

## Referências

- ALLENDER, C.; SUTRISNA, M. Developing a holistic risk management plan in mitigating flooding risks for buildings adjacent to the Swan River in Perth, Western Australia. **Procedia Economics and Finance**, vol. 18, 2014, pp. 693-700.
- ALMEIDA, L. E. S. B.; ROSAURO, N. M. L.; TOLDO JR., E. E. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. **Anais do 12º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Vitória, 1997. pp. 560-566.
- ANDERSON, T. R.; FLETCHER, C. H., BARBEE, M. M.; ROMINE, B. M.; LEMMO, S.; DELEVAUX, J. M. S. Modeling multiple sea level rise stresses reveals up to twice the land at risk compared to strictly passive flooding methods. **Scientific Reports**, vol. 8, 2018, pp. 14484.
- BARRAGÁN, J. M. **Política, gestão e litoral: uma nova visão da Gestão Integrada de Áreas Litorais**. Madrid, Tébar Flores, 2014. 685p.
- BATTJES, J. A.; JANSSEN, J. P. F. M. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. **Proceeding Coastal Engineering**, vol. 1, 1978, pp. 569-587.
- BONETTI, J.; KLEIN, A. H. F.; MULDER, M.; DE LUCA, C. B.; SILVA, G. V.; TOLDO JR., E. E.; M. GONZÁLEZ. Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment. In: FINKL, C. (ed.) **Coastal Hazards**. Chapter 16. Coastal Research Library Series. Springer, Dordrecht, 2013. pp. 423-442.
- BRASIL. Lei Federal nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, **Diário Oficial da União**, 15 de setembro de 1965.

- BRASIL. Lei Federal nº. 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC. Brasília, **Diário Oficial da União**, 16 de maio de 1988.
- CHURCH, J. A.; CLARK, P. U.; CAZENAVE, A.; GREGORY, J. M.; JEVREJEVA, S.; LEVERMANN, A.; MERRIFIELD, M. A.; MILNE, G. A.; NEREM, R. S.; NUNN, P. D.; PAYNE, A. J.; PFEFFER, W. T.; STAMMER, D.; UNNIKISHNAN, A. S. Sea Level Change. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, Cambridge, NY, USA, 2013. pp. 1137–1216.
- COOPER, H. M.; FLETCHER, C. H.; CHEN, Q.; BARBEE, M. M. Sea-level rise vulnerability mapping for adaptation decisions using LIDAR DEMs. **Progress Physical Geography**, vol. 37, 2013, pp. 745-766.
- COSTA, M. B. S. F.; MALLMANN, D. L. B.; PONTES, P. M.; ARAUJO, M. Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, vol. 5, n. 2, 2010, pp. 341-349.
- DAVIES, J. L. **Geographical Variation in Coastal Development**. Londres, Longman, 1980. 212p.
- DIEZ, J. J.; ESTEBAN, M. D.; PAZ, R. Urban coastal flooding and climate change. **Journal of Coastal Research**, vol. 64, 2011, pp. 205-209.
- DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; HESP, P. A.; BARBOZA, E. G.; CLEROT, L. C. P.; SILVA, D. B. Stratigraphy and evolution of a prograded barrier in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, vol. 39, 2006, pp. 132-135.
- FEE. Fundação de Economia e Estatística. **Estimativas para a população flutuante do Litoral Norte do RS**. Porto Alegre, FEE, 2016. 29p.
- FEMA. Federal Emergency Management Agency. Flood Maps. Site <<https://www.fema.gov/flood-map>>, acessado em janeiro de 2019.
- GAGLIARDI, M. H. **Análise de riscos costeiros a eventos atmosféricos extremos no litoral sul do Estado de São Paulo. Estudo de caso na região da desembocadura de Cananéia. São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Programa de Pós Graduação em Ciências, Instituto Oceanográfico, 2013. 238p.
- GALLIEN, T. W.; SANDERS, B.; FLICK, R. Urban coastal flood prediction: Integrating wave overtopping, flood defenses and drainage. **Coastal Engineering**, vol. 91, 2014, pp. 18-28.
- GALLIEN, T. W. Validated coastal flood modeling at Imperial Beach, California: Comparing total water level, empirical and numerical overtopping methodologies. **Coastal Engineering**, vol. 111, 2016, pp. 95-104.
- GESCH, D. B. Analysis of Lidar elevation data for improved identification and delineation of lands vulnerable to sea-level rise. **Journal of Coastal Research**, vol., 25, n. 6, 2009, pp. 49-58.

- GORNITZ, V. Global coastal hazards from future sea level rise. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, vol. 89, 1991, pp. 379-398.
- GUIMARÃES, P. V.; FARINA, L.; TOLDO, E. E. Analysis of extreme wave events in the southern coast of Brazil. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, vol. 2, n. 6, 2014, pp. 4363-4391.
- GUIMARÃES, P. V.; FARINA, L.; TOLDO JR.; E. E., DIAZ-HERNANDEZ, G.; AKHMATSKAYA, E. Numerical simulation of extreme wave runup during storm events in Tramandaí Beach, Rio Grande do Sul, Brazil. **Coastal Engineering**, vol. 95, 2015, pp. 171-180.
- HANSSON, K.; DANIELSON, M.; EKENBERG, L. A framework for evaluation of flood management strategies. **Journal of Environmental Management**, vol. 86, n. 3, 2007, pp. 465-480.
- HEBERGER, M.; COOLEY, H.; HERRERA, P.; GLEICK, P. H.; MOORE, E. **The Impacts of Sea-Level Rise on the California Coast**. Sacramento, California Climate Change Center, 115p. 2009.
- HESP, P. A. Surfzone, beach and foredune interactions on the Australian southeast coast. **Journal of Coastal Research**, vol. 3, 1988, pp.15-25.
- HOGGART, S. P. G.; HANLEY, M. E.; PARKER, D. J.; SIMMONDS, D. J.; BILTON, D. T.; FILIPOVA-MARINOVA, M.; FRANKLIN, E. L.; KOTSEV, I.; PENNING-ROWSELL, E. C.; RUNDLE, S. D.; TRIFONOVA, E.; VERGIEV, S.; WHITE, A. C.; THOMPSON, R. C. The consequences of doing nothing: The effects of seawater flooding on coastal zones. **Coastal Engineering**, vol. 87, 2014, pp. 169-182.
- HOLMAN, R. A.; SALLENGER JR, A. H. Setup and swash on a natural beach. **Journal of Geophysical Research**, vol. 90, 1985, pp. 945-953.
- HORN FILHO, N. O.; VILLWOCK, J. A.; DEHNHARDT, B. A.; TOMAZELLI, L. J.; DEHNHARDT, E. A.; LOSS, E. L.; BACHI, F. A.; GODOLPHIM, M. F. 1988. Mapeamento geológico da província costeira do Rio Grande do Sul. **Anais do Simpósio Sobre Depósitos Quaternários Das Baixadas Litorâneas Brasileiras: Origem, Características Geotécnicas E Experiências De Obras**, Rio de Janeiro, 1988, v.2, pp. 1-21.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Economia e Estatística. Modelo de Ondulação Geoidal. MAPGEO2015. Site <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia>>, acessado em junho de 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasil em síntese. Site <<http://cidades.ibge.gov.br/>>, acessado em novembro de 2018.

- IDLLALLENE, S.; CAWENBERGH, N. V. Improving legal grounds to reduce vulnerability to coastal flooding in Morocco - A plea for an integrated approach to adaptation and mitigation. **Ocean and Coastal Management**, vol. 120, 2016, pp. 189-197.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, In: Solomon et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2007.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Summary for policy makers, in Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. (STOCKER et al. (eds.)). Cambridge Univ. Press, U. K, 2013, 29p.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. (PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (eds.)). IPCC, Switzerland, 2014, 151p.
- KOPP, R. E.; HORTON, R. M.; LITTLE, C. M.; MITROVICA, J. X.; OPPENHEIMER, M.; RASMUSSEN, D. J.; STRAUSS, B. H.; TEBALDI, C. Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. **Earth's Future**, vol. 2, 2014, pp. 383-406.
- LARSON, M.; ERIKSON, L.; HANSON, H. An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. **Coastal Engineering**, vol. 51, 2004, pp. 675-696.
- LIESKE, D. J.; WADE, T.; RONESS, L. A. Climate change awareness and strategies for communicating the risk of coastal flooding: A Canadian Maritime case example. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol. 140, 2014, pp. 83-94.
- MARTELO, A. F.; NICOLODI, J. L. As dunas frontais e sua função frente às inundações da costa: validação de dois modelos de erosão como ferramenta para a gestão costeira aplicados na praia do Mar Grosso, RS. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, vol. 44, 2018, pp. 223-241.
- MAIA, N. Z.; CALLIARI, L. J.; NICOLODI, J. L. Analytical model of sea level elevation during a storm: Support for coastal flood risk assessment associated with cyclone passage. **Continental Shelf Research**, vol. 124, 2016, pp. 23-34.
- MANDARINO, F. C.; ARUEIRA, L. R. Vulnerabilidade à elevação do nível médio do mar na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Estudos cariocas**, 2012, pp. 1-16.
- MARTÍNEZ, M. L.; GONZALEZ, G. M.; CASARIN, R. S.; BALDWIN, E. M. Land use changes and sea level rise may induce a “coastal squeeze” on the coasts of Veracruz, Mexico. **Global Environmental Change**, vol. 29, 2014, pp.180-188.
- MCGRANAHAN, G.; BALK, D.; ANDERSON, T. The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. **Environment and Urbanization**, vol. 19, n. 1, 2007, pp. 17-37.

- NICHOLLS, R. J.; HOOZEMANS, F. M. J.; MARCHAND, M. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. **Global Environmental Change**, vol. 9, 1999, pp. 69-87.
- NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. Sea-level rise and its impact on coastal zones. **Science**, vol. 328, 2010, pp. 1517-1520.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE, 1979. 421p.
- PASSERI, D. L.; HAGEN, S. C.; MEDEIROS, S. C.; BILSKIE, M. V.; ALIZAD, K.; WANG, D. The dynamic effects of sea level rise on low-gradient coastal landscapes: A review. **Earth's Future**, vol. 3, 2015, pp. 159-181.
- PASSOS, A. S.; DIAS, F. F.; SANTOS, P. R.; BARROS, S. R. S.; SOUZA, C. R. G.; BERNARDINO, D.; SANTOS, C. A. Evaluation of the effects of a possible sea-level rise in Mangaratiba RJ. **Journal of Coastal Conservation**, 2018, pp. 01-12
- PBMC. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. In: MARENGO, J.A.; SCARANO, F.R. (eds.). COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, 2016. 184 p.
- POULTER, B.; HALPIN, P. N. Raster modelling of coastal flooding from sea-level rise. **International Journal of Geographical Information Science**, vol. 22, n. 2, 2007, pp. 167-182.
- RAJI, O.; DEL RÍO, L.; GRACIA, F. J.; BENAVENTE, J. The use of LIDAR data for mapping coastal flooding hazard related to storms in Cádiz Bay (SW Spain). **Journal of Coastal Research**, vol. 64, 2011, pp.1881-1885.
- RODRÍGUEZ, J. F.; SACO, P. M.; SANDI, S.; SAINTILAN, N.; RICCARDI, G. Potential increase in coastal wetland vulnerability to sea-level rise suggested by considering hydrodynamic attenuation effects. **Nature Communications**, vol. 8, 2017, pp.16094.
- SILVA, A. F.; TOLDO JR, E. E.; WESHENFELDER, J. Morfodinâmica da embocadura da lagoa de Tramandaí (RS, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, vol. 44, n. 1, 2017, pp. 155-166.
- SMALL, C.; NICHOLLS, R. J. A global analysis of human settlement in coastal zones. **Journal of Coastal Research**, vol. 19, n. 3, 2003, pp. 584-599.
- STAMMER, D. A.; CAZENAVE, A.; PONTE, R. M.; TAMISIEA, M. E. Causes for contemporary regional sea level changes. **Annual Review of Marine Science**, vol. 5, n. 1, 2013, pp. 21-46.
- STOCKDON, H. F.; HOLMAN, R. A.; HOWD, P. A.; SALLENGER JR, A. H. Empirical parameterization of setup, swash, and runup. **Coastal Engineering**, vol. 53, n. 7, 2006, pp. 573-588.
- TAKAGI, H.; ESTEBAN, M.; TAKAHITO, M.; DAISUKE, F. Projection of coastal floods in 2050 Jakarta. **Urban Climate**, vol. 17, 2016, pp. 135-145.

- TOLDO JR., E. E.; DILLENBURG, S.; ALMEIDA, L.; TABAJARA, L.; MARTINS, R.; CUNHA, L. Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. **Pesquisas em Geociências**, vol. 20, n. 1, 1993, pp. 27-32.
- TOLDO JR, E. E.; NICOLODI, J. L.; ALMEIDA, L.; CORRÊA, I.; ESTEVES, L. Coastal dunes and shoreface width as a function of longshore transport. **Journal of Coastal Research**, vol. 39, 2006, pp. 390-394.
- VIANNA, H. L.; CALLIARI, L. J. Variabilidade do sistema praia-dunas frontais para o litoral norte do Rio Grande do Sul (Palmares do Sul a Torres, Brasil) com o auxílio do Light Detection and Ranging - Lidar. **Pesquisas em Geociências**, vol. 42, n. 2, 2015, pp. 141-158.
- VITOUSEK, S.; BARNARD, P. L.; FLETCHER, C. H.; FRAZER, N.; ERIKSON, L.; STORLAZZI, C. D. Doubling of coastal flooding frequency within decades due to sea-level rise. **Scientific Reports**, vol. 7, 2017, pp. 1399.
- WADEY, M. P.; COPE, S. N.; NICHOLLS, R. J.; MCHUGH, K.; GREWCOCK, G.; MASON, T. Coastal flood analysis and visualization for a small town. **Ocean e Coastal Management**, vol. 116, 2015, pp. 237-247.
- WEBSTER, T. L.; FORBES, D. L.; DICKIE, S.; SHREENAN, R. Using topographic lidar to map flood risk from storm-surge events for Charlottetown, Prince Edward Island, Canada. **Canadian Journal of Remote Sensing**, vol. 30, n. 1, 2004, pp. 64-76.
- ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2009. 944p.

## Capítulo 4

### **Artigo 3. Estabilização do canal da embocadura da Lagoa de Tramandaí (RS, Brasil).**

Este capítulo apresenta o conteúdo do segundo artigo que compõe esta tese e foi submetido para a *Revista de Gestão Costeira Integrada* em mai./2019. A seguir o conteúdo submetido é apresentado com ajustes na formatação a fim de melhorar a apresentação do mesmo. A carta de aceite das revisões realizadas é apresentada na próxima página.

25/07/2019

Gmail - [JICZM] Submission Acknowledgement



Ana Silva <ana.oceano@gmail.com>

---

## [JICZM] Submission Acknowledgement

1 mensagem

Francisco Taveira Pinto <fpinto@fe.up.pt>

25 de julho de 2019 13:59

Para: Ana Fatima da Silva <ana.oceano@gmail.com>

Ana Fatima da Silva:

Thank you for submitting the manuscript, " Análise do projeto de estabilização do canal da desembocadura da Lagoa de Tramandaí (RS, Brasil)." to Journal of Integrated Coastal Zone Management. With the online journal management system that we are using, you will be able to track its progress through the editorial process by logging in to the journal web site:

Manuscript URL: <http://www.aprh.pt/ojs/index.php/rgci/authorDashboard/submission/272>

Username: ana-silva23

If you have any questions, please contact me. Thank you for considering this journal as a venue for your work.

Francisco Taveira Pinto

A seguinte mensagem foi enviada em nome de Revista de Gestão Costeira Integrada.

The following message was sent on behalf of the Journal of Integrated Coastal Zone Management.

---



**ANÁLISE DO PROJETO DE ESTABILIZAÇÃO DO CANAL DA  
DESEMBOCADURA DA LAGOA DE TRAMANDAÍ (RS, BRASIL)**

**ANALYSIS OF THE STABILIZATION PROJECT OF THE TRAMANDAÍ LAGOON  
INLET CHANNEL (RS, BRAZIL)**

Ana Fatima da SILVA<sup>1</sup>, Elírio E. TOLDO Jr.<sup>1,2</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. E-mail: ana.oceano@gmail.com

<sup>(2)</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul. - UFRGS. E-mail: toldo@ufrgs.br

## **ABSTRACT**

The lack of knowledge of hydrodynamics, morphodynamics and management of a coastal zone often generate problems in the evaluation of negative environmental impacts and mitigating actions due to the implementation of infrastructure intended for coastal protection, despite the constant development of these technologies. Coastal structures cause different effects on the direct area of interest, where implemented, as well as in the adjacent areas. These affects may be either positive or negative. A better understanding of the natural dynamics of an area and better knowledge of coastal management will benefit the preservation of the natural equilibrium of future infrastructure as well as the monitoring of existing ones. The application of techniques such as physical and numerical modelling assist with the comprehension of coastal processes such as the evolution of the coastline after the installation of moles. This paper presents an analysis of the environmental impacts, both positive and negative, of the installation of moles to fix the channel at the mouth of the Tramandaí lagoon (RS-Brazil). Through this study, it is possible to observe the morphological changes of the coastline due to the influence of the infrastructure with sediment deposition on the leeside of the structure, as well as the extent of the anthropic effect on the changes of a beach environment.

**Keywords.** Channel stabilization, Jetties, Littoral drift, Integrated coastal zone management.

## **RESUMO**

Apesar das tecnologias de engenharia para construção de estruturas de proteção costeira estarem em constante desenvolvimento, é recorrente os problemas de avaliação dos impactos ambientais negativos e as medidas mitigadoras na aplicação das mesmas devido à falta de integração do conhecimento sobre a morfodinâmica, a hidrodinâmica e gestão da zona costeira. Estas estruturas podem apresentar diversos efeitos nas áreas de interesse direto e nas adjacências aonde forem implementadas, tanto positivos quanto negativos. A elucidação destes aspectos pode favorecer a preservação do equilíbrio natural das futuras construções e mesmo no acompanhamento das obras instaladas. O emprego de tecnologias como as modelagens físicas e numéricas favorecem a compreensão dos processos costeiros aplicadas ao conhecimento de variáveis como a evolução da linha de costa após a instalação dos molhes. O presente trabalho apresenta uma análise dos impactos ambientais positivos e negativos da instalação de uma estrutura fixa como molhes e apresenta um estudo de caso para a desembocadura da Lagoa de Tramandaí (RS

- Brasil). Com a realização deste estudo, foi possível observar mudanças na morfologia da linha de costa, decorrentes deste projeto de engenharia, com deposição no lado barlamar da estrutura e o quanto a influência antrópica pode transformar o ambiente praiial.

Palavras-chave. Estabilização da desembocadura, Molhes, Deriva litorânea, Gestão costeira integrada.

## 1 Introdução

As desembocaduras ou canais de maré (*tidal inlets*) são a abertura, na linha de costa, onde as águas do continente e do oceano se encontram, isto é, a conexão entre o oceano e baías, lagunas, banhados e sistemas de canais de maré (Davis Jr. e Fitzgerald, 2004), compreendendo um canal e os corpos sedimentares associados (deltas de maré de enchente e de vazante) (Hayes, 1980).

A mudança na morfologia e a resposta da linha de costa próxima às desembocaduras são controladas por fatores dinâmicos (magnitude e direção do transporte de sedimentos longitudinal, prisma de maré, regime de ondas, etc.), que desempenham um maior papel nos processos costeiros regionais, e por fatores estáticos (batimetria, tamanho e forma da baía, localizações e configurações de molhes, entre outros) que frequentemente atuam na escala dos processos locais (Carr e Kraus, 2001).

As desembocaduras podem ser fixadas por estruturas como molhes ou guia correntes ou, apresentar migrações laterais ao longo da costa, controladas pelos processos dinâmicos naturais. Um dos grandes responsáveis por estes fenômenos são os complexos sistemas de circulação litorânea conhecidos como correntes de deriva litorânea, caracterizando-se como o principal agente de retrabalhamento e distribuição dos sedimentos ao longo da costa (Fitzgerald, 1988).

As desembocaduras interrompem a deriva costeira afetando a morfologia das praias adjacentes e a formação de bancos arenosos em ambos os lados do canal (Bruun e Gerritsen, 1960). Em geral, quando um transporte predominante de sedimentos na costa é bloqueado por uma estrutura artificial que se estende ao longo do litoral, a areia é depositada no lado barlamar (*upcoast* ou *updrift*) da estrutura, ocorrendo progradação, e, a praia à sotamar (*downcoast* ou *downdrift*) apresentará déficit no suprimento de sedimentos ocasionando erosão (Bruun, 1978).

Na medida que o homem vai ocupando e desenvolvendo a região costeira aumentam as necessidades de modificar este ambiente em virtude da utilização de seus meios, como exemplo, a necessidade de fixar uma desembocadura para

construção de um porto ou empresas de pesca em um canal de navegação. Uma das estruturas utilizadas para estabilizar este local são os molhes, que tem por objetivo estabilizar a migração do canal e permitir uma navegação segura para as embarcações protegendo-as contra as ondas, principalmente durante eventos de tempestade.

Em geral os molhes são estruturas conectadas à terra, construídas em uma ou em ambas as margens e ao longo de um canal de navegação, projetadas perpendicular à costa e se estendendo em direção ao oceano. Se encontram apoiadas no leito submarino pelo peso das rochas ou dos blocos de concretos, emergindo da superfície aquática (Cornell *et al.*, 2019).

Sabemos que a Natureza é muito dinâmica e que o homem não consegue, por muito tempo, barrar as consequências desse dinamismo, sendo assim, um aprofundado conhecimento sobre o local em que se deseja realizar a instalação da proteção costeira é imprescindível, pois estas estruturas podem resultar na modificação da linha de costa e na morfologia da praia, além de seu impacto significativo na dinâmica costeira (ondas, correntes, etc.), entrada de sedimentos nos canais e a progradação/erosão da linha de costa (Davis Jr. e Fitzgerald, 2004) provocando mudanças em um pequeno período de tempo (Flor-Blanco *et al.*, 2015).

Algumas informações (passadas, presentes e futuras) sobre o local em que essas obras serão instaladas como, por exemplo, a variação a curto e longo prazo da mudança da linha de costa, a erosão e deposição sedimentar que ocorrem nas áreas adjacentes e, como ocorre, este transporte sedimentar, são vitais para o sucesso do projeto, para a gestão das obras e, também, para o gerenciamento costeiro.

No litoral norte do Rio Grande do Sul (RS), desde a década de 1940, existe um plano de construção de molhes no canal lagunar de Tramandaí para favorecer a navegação, que no atual momento possui limitações de calado pela formação de bancos arenosos, associados ao delta de maré vazante (*ebb shoals*). A região costeira é densamente ocupada e, atualmente, apenas a margem esquerda se encontra fixada por uma estrutura do tipo guia-corrente (Silva *et al.*, 2017).

A construção dos molhes pode auxiliar no impedimento da formação dos bancos no fundo, deixando o canal mais profundo, sem baixios, porém pode ocorrer a migração destes bancos a maiores profundidades, dependendo do comprimento e da profundidade da nova barra (Flor-Blanco *et al.*, 2015).

Diversos estudos foram desenvolvidos para compreender como estas estruturas costeiras modificam o próprio canal e a região costeira e oceânica no

entorno. Castelle *et al.* (2006) investigaram o comportamento da desembocadura de Currumbim Creek (Gold Coast/ Austrália) e das praias adjacentes a partir de fotografias aéreas e modelagem numérica. Eles observaram que antes da construção de um quebra-mar, o canal migrava e, algumas vezes, ocorria o fechamento da barra. Também, a partir de imagens de satélite, Flor-Blanco *et al.* (2015), analisaram o comportamento do canal de San Vicente de la Barquera (Cantabria, Spain) após a construção de dois molhes e apresentaram as modificações visíveis na linha de costa.

As estruturas de proteção costeira também podem interferir na estética do ambiente ou na qualidade do esporte, fato estudado por Corne (2009) com respeito ao padrão das ondulações para o surf. O autor destaca a influência da prática deste esporte na economia local que pode ser prejudicada caso ocorra modificações deste padrão. Ainda, observa a importância da gestão integrada, ou seja, a participação da comunidade na elaboração e acompanhamento do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) antecedente à realização da obra.

Com relação à mudança na dinâmica sedimentar, muitas vezes, mesmo com a construção de molhes longos (8 km de extensão) como o caso de Sulina (Danube Delta), o banco arenoso em frente a barra continua presente, necessitando que o material sedimentar seja dragado periodicamente para manter uma profundidade mínima de navegação (Stanica *et al.*, 2011).

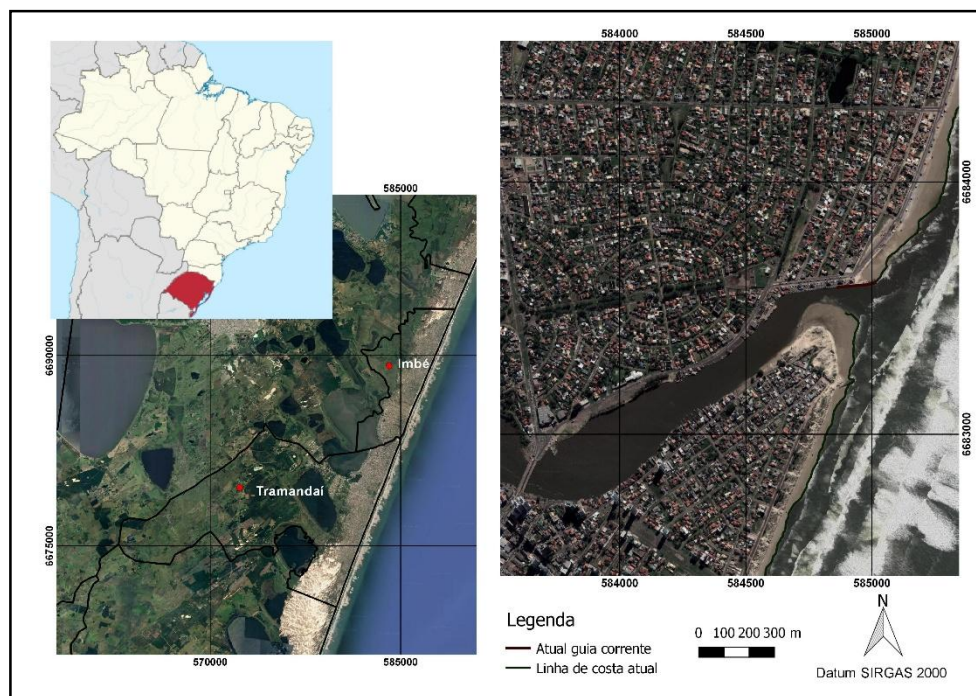
As mudanças antrópicas na costa brasileira são bem documentadas, mas são praticamente inexistentes as pesquisas que descrevem as possíveis consequências da instalação de estruturas de proteção costeira como molhes ou guia correntes, bem como das dragagens relacionadas a estas obras. Barragán e Andrés (2016), atentam à importância de planos para obras costeiras e marinhas na gestão costeira integrada e sustentável devido aos avanços nesta zona, embora atualmente existem limites e atenuações devido aos interesses econômicos por parte dos governos ou investidores. No Brasil, se destaca a importância de incorporar os conhecimentos adquiridos às obras de engenharia costeira, que muitas vezes à falta destes, resultam em desperdício de recursos financeiros públicos por estas obras acelerarem ainda mais a erosão (Souza, 2009).

É importante, de tal modo, fazer um levantamento sobre as possíveis alterações que as obras costeiras irão causar, enquadrando-as numa perspectiva de gestão costeira integrada, e elencar os aspectos positivos e impactos negativos, de

forma a contribuir para encontrar soluções ou atentando ao fato da análise metódica em futuros projetos, de modo a minimizar os efeitos das pressões antrópicas na costa. Assim, os objetivos desta pesquisa compreendem evidenciar os aspectos positivos e os impactos negativos da construção de uma estrutura rígida, no tipo molhes, na região costeira e, demonstrar, em um estudo de caso, os efeitos do comportamento da linha de costa das praias adjacentes à estrutura, a partir de resultados de modelagens física e numérica.

## 2. Área de estudo

A desembocadura da Lagoa de Tramandaí ( $29^{\circ}58'30''\text{S}/50^{\circ}07'00''\text{W}$ ), localizada no litoral norte do RS, delimita dois municípios costeiros, cujas praias adjacentes recebem o mesmo nome: Imbé, localizada ao norte do canal e, Tramandaí, ao sul (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de localização da desembocadura da Lagoa de Tramandaí.  
**Figure 1.** Location map of the study area.

Este trecho da costa é parte de um sistema deposicional do tipo laguna-barreira e da bacia hidrográfica do rio Tramandaí, com área de 3.145 km<sup>2</sup>, cujas águas são drenadas para o oceano através de uma canal parcialmente estabilizado por um guia-corrente, ao longo da margem esquerda da desembocadura (Silva *et al.*, 2017). Apresenta 55 m de largura na seção transversal mínima e as correntes de maré

apresentam vazões entre 75 e 200 m<sup>3</sup>/s e média de 130 m<sup>3</sup>/s (Motta, 1965), que somados ao movimento do volume de água do prisma de maré impedem a obstrução do canal pelo assoreamento sedimentar (Silva *et al.*, 2017).

A maré astronômica na área é caracterizada como semidiurna, com amplitude média de 0,25 m, podendo alcançar 1,20 m durante uma maré meteorológica (Almeida *et al.*, 1997; Andrade *et al.*, 2018).

Sobre a costa do Rio Grande do Sul incidem ondulações geradas no oceano Atlântico sul e vagas provenientes do quadrante nordeste (NE) geradas pelos fortes ventos locais de verão e primavera. A agitação marítima é caracterizada por ondas de média a elevada energia, com altura significativa de 1,5 m e período entre 7 e 9 s, com exceção quando da ocorrência de passagem das frentes frias de sul (S) e sudeste (SE) (Almeida *et al.*, 1997; Sprovieri *et al.*, 2019). Por conseguinte, a ação das ondas domina o transporte e a deposição dos sedimentos ao longo da costa. A profundidade de fechamento ( $h_c$ ) é estimada em 7,5 m (Almeida *et al.*, 1999).

Em todo o litoral, a distribuição direcional da corrente litorânea é muito regular tanto para o quadrante sudoeste (SW) quanto para o NE, em um padrão claramente bidirecional. Porém, o transporte de sedimentos é mais expressivo associado com a corrente longitudinal de SW do que com a precedente de NE devido as correntes SW resultarem principalmente de um maior fluxo de energia das ondas associado à passagem de frentes frias (Lima *et al.*, 2001). As velocidades variam entre 0,10 e 0,83 m/s (Jung e Toldo Jr., 2011). Sprovieri *et al.* (2019) quantificaram a deriva litorânea em 45 km de costa no litoral norte do RS e obtiveram uma taxa resultante de 1.098.945 m<sup>3</sup>/ano com sentido para norte.

Ainda não se tem estudos sobre os bancos arenosos (*ebb shoals*) que se situam em frente a desembocadura, nem como ocorrem sua migração, mas é sabido que estes fornecem areia para a deriva agindo como agentes naturais de reabastecimento de praia (Kana *et al.*, 1999).

### **3. Materiais e Métodos.**

#### **3.1. História do projeto da obra dos molhes**

O Departamento Estadual de Portos, Rios e Canais do Rio Grande do Sul (DEPREC) hoje Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) tinha intenção de estabelecer um porto pesqueiro em Tramandaí. Este objetivo exigia a definitiva fixação

da desembocadura e a manutenção de um canal de acesso com profundidades suficientes através da barra. No final da década de 1940 foi apresentado um projeto de regularização por molhes curvos a fim de manter a profundidade de 4 m no canal de acesso.

Em 1956 foi firmado um convênio com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS) para execução de estudo técnico. Porém, naquela época, por serem escassos os dados oceanográficos da área de interesse os estudos foram interrompidos. Em 1960 o DEPREC executou outro tipo de obra, um guia corrente ao longo da margem esquerda do canal, que teve por finalidade estabilizar a mobilidade da desembocadura (Motta, 1965; Silva *et al.*, 2017).

Em continuidade ao projeto da estabilização, a PETROBRÁS manifestava interesse na fixação do canal de navegação por possuir um terminal de operações marítimas no interior do canal para operação e manutenção de seu terminal oceânico, exigindo profundidades de apenas 2,5 m, um acesso ao mar para embarcações de pequeno calado (Motta, 1965). Assim, a PETROBRÁS assinou um novo convênio com o IPH-UFRGS para realização dos estudos com o intuito de analisar as consequências de tal regularização.

## **3.2 Modelagens desenvolvidas para área de estudo**

### **3.2.1 Modelo Físico Reduzido**

Os dados descritos a seguir foram obtidos de Motta (1965). O IPH/UFRGS desenvolveu uma pesquisa em modelo físico reduzido, de fundo móvel, para analisar sobre a fixação da desembocadura de Tramandaí e no qual mantivesse um canal de acesso com profundidade de 4 m em águas mínimas e com um mínimo de dragagem de manutenção.

Um largo estudo foi realizado antes da construção do modelo físico possibilitando representar as condições locais da melhor maneira possível. Dados de ondas, sedimentos, transporte sedimentar, perfil de praia e vazão fluvial se fizeram presentes. As correntes litorâneas não foram reproduzidas por apresentarem valores de velocidades baixos (10-20 m/s) e por serem capazes apenas de transportar o material em suspensão.

Anteriormente à aplicação do modelo propriamente dito se fez o ensaio do anteprojeto (apresentado pelo engenheiro do DEPREC, em 1948) resultando em

insucesso. Neste projeto os molhes eram curvos, sendo o molhe norte com maior extensão do que o sul e projetados para SE. O resultado do ensaio do anteprojeto do DEPREC mostrou que a construção de um par de molhes curvos e paralelos se estendendo até a isóbata de 5 m (molhe norte) e 2 m (molhe sul), não manteria um canal de acesso com profundidade esperada de 4 m; por ser a direção do transporte litorâneo dominante para SE os molhes não deveriam ser apontados para esta direção e, também, ocorreria um gradual e significativo recuo na praia de Imbé.

Durante o estudo foram efetuados ensaios de 6 tipos distintos de molhes conforme Tabela 1.

**Tabela 1.** Diferentes tipos de molhes elaborados no modelo físico reduzido.

**Table 1.** Different types of jetties elaborated in the reduced physical model.

Tipo do traçado do molhe	Distância interna entre os molhes na cota 0 m	Canal de acesso com profundidade de 4 m	Indicação
1 curvos e paralelos orientados para NE	116 m	Manteve	Sem vantagem
2 retos e paralelos, com o molhe norte prolongando o atual guia corrente	116 m	Manteve	Segundo mais indicado
3 retos e paralelos, perpendiculares à praia	116 m	Manteve	Sem vantagem
4 retos e paralelos, o molhe norte prolongando o atual guia corrente, com encurvamento da extremidade do molhe sul e menor largura para o canal de acesso	90 m	Manteve	Inconveniente
5 retos e paralelos, o molhe norte prolongando o atual guia corrente, com menor largura para o canal de acesso	90 m	Manteve	Inconveniente
6 molhes convergentes	116 m	Manteve	Mais indicado

### 3.2.2 Modelo Numérico GENESIS

Os dados descritos a seguir foram obtidos de Aquino (2004). A autora calibrou o modelo numérico GENESIS (*Generalized Model for Simulating Shoreline Change*) para a costa centro norte do RS e avaliou seu uso como ferramenta na previsão de impactos ambientais gerados por obras costeiras, também, reproduziu duas condições do modelo físico reduzido acima descrito realizando a comparação entre os modelos.

O modelo numérico GENESIS faz parte de um sistema de modelagem de linha de praia, o SMS (*Shoreline Modeling System*), desenvolvido pelo CERC (*Coastal Engineering Research Center - USA*). Este modelo pode ser utilizado em costas abertas, arenosas e sujeitas a intervenção humana e para previsão da resposta da linha de praia as diversas obras instaladas na mesma. Aquino (2004) fez reproduções



através do uso dos dados de onda de 1965 (utilizado no modelo físico reduzido) e de 1996 (dados de um ondógrafo instalado a 2500 m da praia de Tramandaí) percebendo a importância do uso de uma série de dados de ondas. Uma das grandes limitações do modelo é a incapacidade de representar embocaduras, no qual a autora calibrou então um trecho ao norte da mesma.

### **3.2.3. Geoprocessamento**

Para observação dos efeitos da estrutura na variação da linha de costa, de ambas modelagens descritas anteriormente, quanto a mudança da posição da linha de praia após a construção dos molhes, os resultados foram reproduzidos no *software* QGIS®.

A imagem de satélite utilizada para compor o Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi adquirida no *Google Earth*®. A linha d'água foi definida de acordo com Toldo Jr. e Almeida (2003).

## **4. Resultados e discussões**

### **4.1. Descrição dos tipos de impactos positivos.**

#### *Impedir a migração da desembocadura.*

Os diferentes tipos de desembocaduras apresentam diferentes taxas de mobilidade, controlados principalmente pela deriva litorânea e pelo prisma de maré, e se a mesma estiver em forma livre pode ocorrer a deposição de sedimentos em uma das margens, com erosão no lado oposto e consequente migração do canal. As estruturas do tipo molhes são construídas para fixar as margens e, ao fazê-lo, direcionam e confinam as correntes das marés e do corpo d'água a montante (Kraus, 2005).

#### *Manter o canal aberto e com profundidade adequada para navegação.*

Após a fixação das margens ocorre uma redução na taxa de transporte da areia proporcional a extensão da estrutura, pois os molhes bloqueiam a deriva (Kraus, 2005). Também, nesses locais, as correntes de maré podem limpar mais eficazmente a areia do canal, e, portanto, manter maior área da seção transversal (Bruun e Gerritsen, 1960). Devido a maior vazão gerada pela construção da estrutura, as

descargas líquidas tendem a varrer o fundo e transportar os sedimentos para além do canal (Bruun, 1978).

*Favorecer a segurança da navegação.*

Os molhes bloqueiam parcialmente ou totalmente as ondas, abrigando as embarcações à turbulência na zona de arrebentação, para alcançar águas profundas, além de melhorar as condições de manobra dos navios nas entradas dos canais (Alfredini e Arasaki, 2009). Desta forma, os molhes agem como um “quebra-mar”. Tanto quanto possível, os molhes são alinhados de tal forma que as embarcações saem diretamente para as ondas incidentes (Kraus, 2005).

*Utilizar a areia dragada para alimentação da praia à sotamar.*

Em determinados casos, o sedimento dragado na desembocadura é utilizado nos projetos de engordamento (*nourishment*) para alimentação da praia à sotamar que sofreu os processos erosivos devido à instalação do molhe. Freitas e Dias (2012), relataram eficiência na escolha deste método para a Praia da Rocha (Algarve/ Portugal), permitindo a sua reconstituição e reduzindo os impactos nas áreas litorâneas adjacentes.

*Aumentar a oportunidade de lazer na região.*

Com relação à prática do surf a estrutura pode ser considerada como um aspecto positivo ou impacto negativo. De acordo com Corne (2009), a estrutura pode atuar na retenção de areia e formar bancos arenosos que favorecem a quebra das ondas, e assim, a prática do surfe.

Na Praia da Rocha (Algarve/ Portugal) foi perceptível o desenvolvimento do turismo devido à melhoria de condições portuárias do estuário e, também uma maior realização da navegação de recreio (Freitas e Dias, 2012).

Além destes aspectos positivos, outros podem ser relacionados: Melhorar a circulação do sistema estuarino/lagunar favorecendo o desenvolvimento da fauna marinha; Desenvolvimento econômico nas águas interiores (instalação de portos, marinas, desembarque de pescado) e, Melhorar as condições hidráulicas na região da foz durante eventos de chuvas intensas na bacia hidrográfica (aumenta a vazão fluvial), diminuindo o risco de inundações nas regiões do entorno.

#### **4.2. Descrição dos tipos de impactos negativos.**

Embora as estruturas costeiras possam representar a opção mais eficaz para estabilizar a linha costeira, há um preço a pagar (Cornell *et al.*, 2019). Bush *et al.* (1995) atentam que: (1) não há problema de erosão até que uma estrutura seja construída em uma linha de costa; (2) a erosão da praia é um evento comum e esperado, não um desastre natural; (3) a engenharia da linha de costa protege os interesses de muito poucos, muitas vezes a um custo financeiro muito alto e, (4) a engenharia da linha de costa é realizada para salvar a propriedade da praia, não a própria praia.

Os molhes podem causar alguns efeitos negativos nos locais e adjacências de sua instalação. De certa forma, todos os impactos e os efeitos estão conectados: 1) impactos costeiros, relacionando-os com a morfodinâmica e processos geológicos e, 2) impactos socioambientais e econômicos.

*Mudança na posição da linha de costa por redução da taxa transporte sedimentar ou retenção de sedimentos retidos na obra costeira.*

Enquanto os molhes aprisionam sedimentos no lado barlamar, resultando na acreção da praia, há correspondente erosão no lado sotamar devido à interrupção no transporte longitudinal. Esta estrutura retém a areia que provavelmente estaria fluindo pra uma praia vizinha, assim, se em um lado a estrutura está “funcionando bem”, no outro causará erosão (Evans, 2008; Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2008).

Essa taxa de mudança da linha de costa pode variar nas fases de pré e pós-construção sendo deposicional/erosional até alcançar a estabilidade, fato confirmado por Mohanty *et al.* (2015), que observaram na região do porto de Dhamara (Índia), uma mudança negativa na linha de praia na fase de pré-construção, enquanto após a conclusão da obra o resultado foi positivo.

*Assoreamento do canal e erosão na praia.*

A construção da estrutura de proteção costeira pode induzir ao assoreamento do canal se houver redução do prisma de maré. Também, os molhes modificam a refração de ondas, e induzem um padrão de difração no final do molhe. Esse processo gera trens de ondas que erodem a margem oposta do molhe, com efeitos erosivos em habitações urbanas, principalmente quando da passagem de eventos extremos (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2008).

*Dragagens de manutenção do canal de acesso com perda sedimentar.*

De acordo com Dean (1988), o acúmulo e a erosão em ambos os lados dos molhes não são a mais grave das consequências. Segundo o autor, a maior consequência desta construção são os milhões de metros cúbicos da areia dragada para manutenção do calado do canal, depositados em áreas muito afastadas da costa, tornando impraticável o retorno para áreas com influência da dinâmica costeira. A areia dragada é liberada no mar a profundidades maiores que a profundidade de fechamento, sendo assim retiradas do sistema costeiro (Stanica *et al.*, 2011).

Em outras palavras, trata-se da perda de volume de areia que poderia ser usada na recuperação ambiental de um determinado trecho de costa. Esta perda irreparável se deve claramente à ação de uma deriva litorânea alterada em razão da interferência sem estudos detalhados de possíveis impactos na área costeira (Dean, 1988).

#### *Alteração nas descargas pluviais e conseqüente mudança no banco vazante.*

Entre os principais motivos da construção de molhes está o aumento do fluxo do canal para impedir a formação de bancos arenosos. A diminuição do prisma de maré pode resultar em respostas morfodinâmicas substanciais, como a redução do delta de maré vazante, que funcionam como reserva de sedimentos, para compor a praia a sotamar, como parte do processo de *bypassing* (Wang e Beck, 2012). Cabe aos engenheiros dessas estruturas o conhecimento do sistema de *bypass* para não causar sentido contrário ao objetivo da obra (Kraus, 2009).

#### *Avanço das construções sobre os campos de dunas.*

A acumulação de sedimentos pela deriva litorânea no lado barlar do molhe pode favorecer o avanço da ocupação sobre este espaço, atingindo o campo de dunas observado por Flor-Blanco *et al.* (2015), enquanto que no lado sotamar do molhe, devido à erosão, pode ocorrer a extinção das dunas.

#### *Mudança na qualidade do esporte.*

De acordo com Corne (2009) se a estrutura for colocada na zona de quebra e bloquear ou interferir a passagem das ondas, pode haver uma redução na qualidade das mesmas. Pilkey e Wright (1988) citam uma redução do fluxo de sedimentos para o oceano, devido ao bloqueio causado pelo molhe, diminuindo a formação de bancos de areia que causam a quebra da onda assim reduzindo a frequência das ondas.

### *Impactos sobre a navegação.*

Em alguns casos específicos associados ao desconhecimento técnico, a deformação da onda causada pela obra pode afetar a estabilidade da navegação. Seja devido ao *overtopping* ou pelas ondas geradas nos bancos na boca da barra.

Alguns acidentes foram relatados após a instalação das obras dos molhes do rio Mampituba RS. Primeiro, devido ao reduzido comprimento dos molhes em relação ao projeto inicial, de modo a não proporcionar um trânsito seguro para as embarcações usadas pelos pescadores. Segundo, devido à dificuldade de transposição dos bancos de areia submersos que causam além do encalhe, a arrebentação sucessivas das ondas incidentes, deixando assim as embarcações mais suscetíveis (DEOH, 1999).

### *Perda de habitats.*

Isso pode causar impactos severos para a fauna que vive na areia imediatamente em frente aos molhes, além de uma possível redução na ciclagem de nutrientes e na biodiversidade e abundância. Mohanty *et al.* (2015), atentam para o fato das praias que servem para nidificação de tartarugas. Há muitos casos em que o desenvolvimento assume uma prioridade mais alta do que a proteção ambiental (Noshi *et al.*, 2015).

### *Alteração no turismo devido ao impacto visual e redução na largura da praia.*

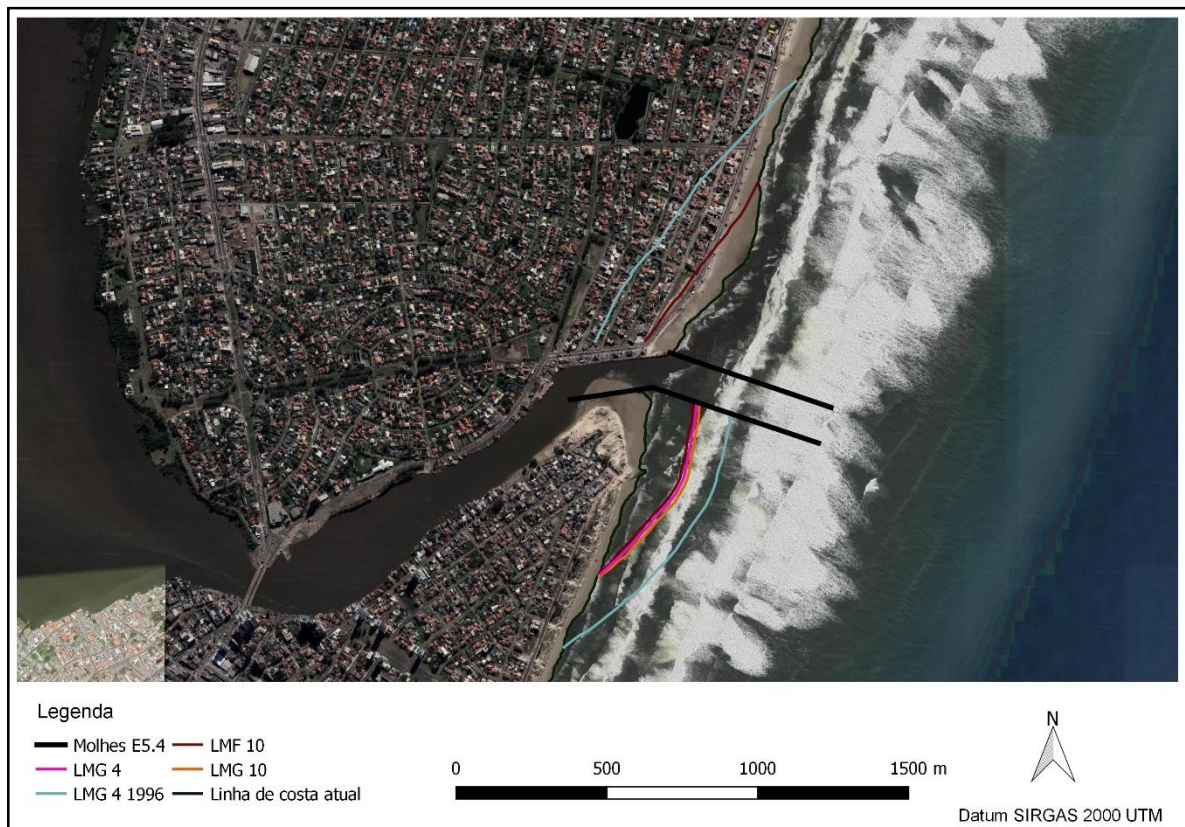
Um importante fator na seleção de uma praia por um surfista é a paisagem. O valor estético de uma praia conta muito para a motivação do surfe. A construção dos molhes pode causar uma redução na procura do local para este tipo de turismo. Além disso, com a construção dessa obra poderá ocorrer uma diminuição na largura da praia e, portanto, diminuir seu valor recreativo (Cornell *et al.*, 2019).

Outros aspectos negativos podem ser relacionados: Possível benefício para espécies invasoras, uma vez que estruturas como molhes podem servir como habitat; Custo econômico, incluindo o investimento inicial na construção dos recursos anteriores para instalação da estrutura e custos de manutenção, como a dragagem periódica.

## **4.3. Resposta da linha de costa**

As Figuras 2 e 3 ilustram os resultados encontrados para possível resposta da linha de costa a partir dos resultados fornecidos pelos modelos físico e numérico à instalação desta obra costeira.

No ensaio dos molhes retos e paralelos e a partir do uso dos dados de onda do modelo físico, para um período de quatro anos, com o modelo numérico, em Imbé ocorreria uma erosão de 100 m e em Tramandaí uma deposição de 140 m. Já, com o modelo físico (no trabalho original chamado de Ensaio 5.4 (E5.4)), não foi calculado, porém é citado um recuo em Imbé e deposição em Tramandaí. Para um período de dez anos o modelo físico calculou uma taxa de recuo de 100 m em Imbé e deposição de 130 m em Tramandaí. O modelo numérico, para o mesmo período de tempo, apresentou uma taxa de recuo de 100 m em Imbé e deposição de 150 m em Tramandaí. A partir da série de dados de ondas utilizada do ano de 1996 e em um período de quatro anos, o modelo numérico apresentou uma taxa de recuo de 255 m em Imbé e deposição de 264 m em Tramandaí.

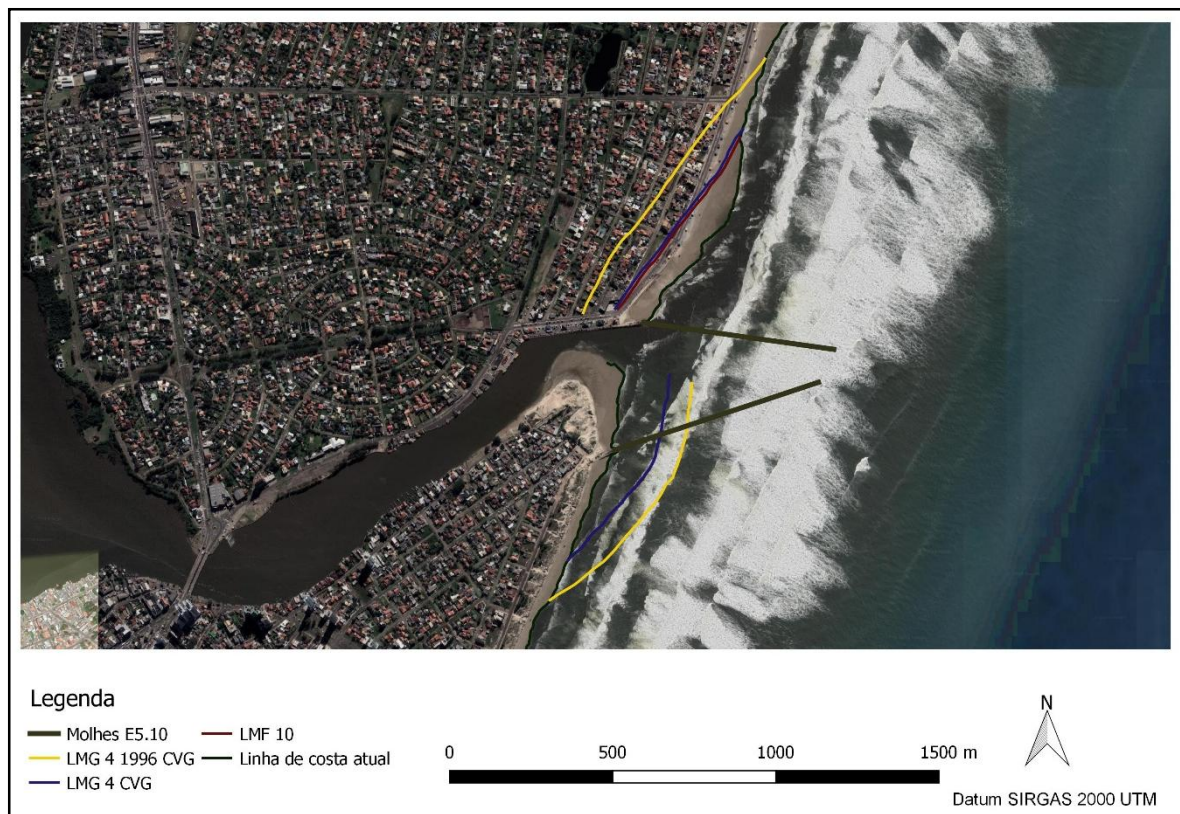


**Figura 2.** Projeção dos molhes retos e paralelos (modelo físico reduzido Ensaio 5.4 (E5.4)) e seus efeitos na linha de costa (LMG 4 = Linha calculada Modelo Gênese, tempo de simulação: 4 anos; LMG 10 = Linha calculada Modelo Gênese, tempo de simulação: 10 anos; LMF 10 = Linha calculada Modelo Físico, tempo de simulação: 10 anos).

**Figure 2.** Projection of the straight and parallel jetties (reduced physical model E5.4) and its effects on the coastline.

Na aplicação dos molhes convergentes, sendo o molhe sul com uma inclinação de  $8^\circ$  e o molhe norte de  $42^\circ$  (no trabalho original foi denominado como Ensaio 5.10 (E5.10) em um período de quatro anos, no modelo numérico a partir do uso dos dados de onda do modelo físico, a praia de Imbé apresentaria uma erosão de 110 m, e em Tramandaí ocorreria uma deposição de areia com avanço da praia de 130 m. Em dez anos o modelo físico calculou uma taxa de recuo de 100 m em Imbé e deposição de 130 m em Tramandaí.

A partir da série de dados de ondas utilizada de 1996, para um período de quatro anos, o modelo numérico apresentou uma taxa de recuo de 200 m em Imbé e deposição de 200 m em Tramandaí.



**Figura 3.** Projeção dos molhes convergente (CVG) (modelo físico reduzido Ensaio 5.10 (E5.10)) e seus efeitos na linha de costa (LMG 4 = Linha calculada Modelo Gênese, tempo de simulação: 4 anos; LMF 10 = Linha calculada Modelo Físico, tempo de simulação: 10 anos).

**Figure 3.** Projection of the convergent jetties (reduced physical model E5.10) and its effects on the coastline.

Através da observação das Figuras 2 e 3 se pode perceber uma mudança na linha de costa após a instalação dos molhes, sendo que entre os dois tipos apresentados, os molhes convergentes apresentaram vantagens. O resultado obtido através das modelagens, física e numérica, está de acordo com a discussão existente sobre o tema, ou seja, no lado barlamar ocorre a deposição dos sedimentos enquanto

no lado sotamar presenciemos a erosão. Como comentado anteriormente, na área de estudo, o transporte de sedimentos se apresenta nos dois sentidos da costa, porém o transporte resultante possui sentido para o norte (Sprovieri, 2018). Na época do estudo do modelo físico reduzido, Motta (1965), descreveu a existência do transporte nos dois sentidos da costa, sendo o transporte para o norte apenas uma vez e meia maior que o de sentido para o sul.

A erosão ou deposição de sedimentos visualizadas em ambas as Figuras 2 e 3, que se estende por cerca de 300 m para o norte e para o sul foi baseada no modelo numérico (Aquino, 2004).

Embora a resposta costeira para molhes possa se estender por muitos quilômetros a partir da desembocadura, a erosão é geralmente mais forte adjacente à estrutura de engenharia (Kraus, 2009). Sendo que, podem ser necessárias, posteriores medidas de proteção costeira, como engordamento de praia ou instalação de espigões.

Ao estudar os efeitos da variação da linha de costa, Motta (1965) cita que após alguns anos, as praias retornariam ao seu equilíbrio natural, como encontrado por Komar *et al.* (1976) para desembocaduras da costa noroeste do Pacífico e por Bettencourt *et al.* (2009), no rio Douro, (Portugal). Porém, de acordo com Garel *et al.* (2014), após o esgotamento deste sedimento, e no contexto de *bypass*, a erosão mais severa à deriva, induzida pelos molhes, está prevista para ocorrer algumas décadas após a sua construção.

Este futuro ajuste irá depender de alguns fatores como (1) comprimento dos molhes, (2) frequência e localização do material dragado, (3) equilíbrio das taxas de transporte de sedimentos e (4) tempo decorrido após a construção do molhe, entre outros (Kraus, 2009).

Um ponto importante é que no atual momento as praias adjacentes à desembocadura estão em equilíbrio com a dinâmica sedimentar natural. O guia corrente a mantém estabilizada e, por não adentrar na zona de quebra das ondas não apresenta interferência sobre a deriva litorânea (Silva *et al.*, 2017). Qualquer interrupção no transporte natural da areia irá modificar este equilíbrio.

O padrão de erosão/deposição de uma linha de costa depende criticamente da taxa anual de transporte de sedimentos e direção. No momento atual, segundo Sprovieri *et al.* (2019) a taxa é positiva e está em equilíbrio, com leve tendência à acreção.



#### 4.4. Impactos da obra na estabilidade da desembocadura

A obra costeira precisa ter seu prolongamento em direção à montante, num tamanho ideal para que não ocorra rompimento (*breach*) anterior ao molhe, pois em caso de rompimento da barreira arenosa adjacente ao molhe, além de comprometer o funcionamento da navegação, aumentarão os custos de operação e manutenção e, esta nova configuração pode se tornar o principal canal para direcionar o fluxo das marés (Kraus e Wansley, 2003).

Para a desembocadura de Tramandaí, Silva *et al.* (2017) citam que o prisma de maré atual exerce uma força contrária ao transporte de sedimentos mantendo o canal sem os depósitos de areia dos deltas de vazante e enchente. Se os molhes fossem instalados na região e, de alguma forma, ocorresse esta ruptura, o prisma de maré apresentaria uma mudança e a configuração de todo sistema iria se alterar. Como em Tramandaí e Imbé ocorre uma densa ocupação nas adjacências do canal lagunar, isto acarretaria uma grande preocupação e até mesmo danos irreversíveis à população, além de todo sedimento que seria transportado pelo rompimento ter que ser posteriormente dragado, podendo aumentar ainda mais o risco da erosão nas áreas vulneráveis.

Também, as mudanças no nível do mar deverão alterar o funcionamento dos canais e estruturas costeiras, como os molhes, projetados para estabilizar o canal e melhorar a navegabilidade (Rosati e Kraus, 2009). Preocupações incluem aumento das forças de onda à jusante do molhe e também possível movimento do material da estrutura; perda de capacidade de colocação de material dragado em alguns locais; diminuição no desvio de areia natural devido a um aumento efetivo no comprimento do molhe (Rosati e Kraus, 2009), e maior energia dos eventos erosivos, com perdas substanciais da areia da praia (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2008).

Silva *et al.* (no prelo) com base no galgamento e nos índices do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) realizaram mapas da inundação do aumento do NM. Se acontecer a obra costeira e a urbanização avançar no sentido do oceano, do lado barlar, ocorrerá uma maior vulnerabilidade, pois no reverso das dunas, justamente neste setor, foi onde os autores encontraram as maiores taxas de inundação costeira e com o menor nível de elevação (2,07 m).

Segundo Mallinson *et al.* (2008) as desembocaduras se ajustam naturalmente às mudanças nas condições hidrodinâmicas transmitidas pelas mudanças climáticas, incluindo tempestades, sendo que esse ajuste só se torna um “perigo” ou “desastre

natural” quando estruturas humanas estão no caminho. Os autores declaram que uma gestão responsável de recursos projeta políticas e infraestruturas costeiras sustentáveis adaptáveis às condições de mudança.

Embora, não exista um estudo específico sobre os bancos arenosos de vazante e de enchente na área de estudo, é possível identificar estas feições nas fotografias e imagens aéreas (Figura 2), além de ser possível visualizar em determinados momentos, a dificuldade do ingresso ou saída das embarcações no canal. Tomazelli e Villwock (1992) informaram a existência desta feição subaquosa nas imediações da desembocadura.

Com a instalação dos molhes, ocorrerá mudança na estrutura e posição desses bancos, com possibilidades de confinar a corrente de vazante ou, o desenvolvimento de novo banco em frente a nova extremidade do canal lagunar. Se, após longos períodos de tempestade, a corrente longitudinal transportar demasiado volume de sedimentos para a desembocadura, poderá ocorrer a redução da seção transversal, dificultando o desenvolvimento das correntes de marés vazantes e o transporte de sedimentos no canal.

A profundidade de fechamento na área de estudo, conforme descrito anteriormente é de 7,5 m (Almeida *et al.*, 1999). A recomendação do modelo físico é estender a estrutura dos molhes até a isóbata de 5 m, ou seja, não alcançando a  $h_c$ , permitindo assim uma superfície de fundo rasa para o trânsito de sedimentos. Caso os molhes ultrapassassem a  $h_c$ , possivelmente uma maior quantidade de sedimentos ficaria retida no lado da deriva dominante.

E, quanto aos impactos socioambientais e econômicos deve ser considerada a existência de um tipo de pesca - a pesca interativa com os botos, que só ocorre em dois locais no sul do Brasil, na área de estudo e em Laguna (SC). Portanto, esta questão muito particular da área de estudo se torna relevante quanto a extensão destes prejuízos. Além do que, os pescadores artesanais utilizam o pontal arenoso de Tramandaí para a pesca, o qual seria desativado com os novos molhes, pois as estruturas duras impedem parcialmente o uso recreativo da zona costeira e podem causar efeitos ecológicos adversos dentro da zona costeira (Cornell *et al.*, 2019).

Uma possível erosão prevista na praia de Imbé, além de causar danos às estruturas antrópicas tenderia a uma diminuição do turismo por modificações na paisagem, por menor área de “praia” e mudança nas práticas esportivas (*surf, stand up, etc.*).

Atualmente, não se observa uma gestão que implique melhoras reais das zonas costeira e marítima brasileira, no tocante à conservação dos sistemas ambientais, dos seus serviços ecossistêmicos e do bem-estar humano (Scherer e Asmus, 2016). Para abordar soluções à esta zona é imprescindível uma adequada compreensão dos problemas costeiros e marinhos, que se constrói com sua observação, entendimento das causas que os provocam e conhecimento de suas origens (Barrágan, 2006).

Assim, integrar os estudos levantados no presente trabalho, juntamente com educação à comunidade e aplicação de modelos físicos e numéricos se faz necessário a uma gestão costeira com vista real à melhorar o ambiente como um todo e não apenas com interesses políticos e econômicos.

## **5. Conclusões**

Com o crescente desenvolvimento econômico os seres humanos tendem a explorar novos ambientes em zonas costeiras e, com isso, se cria a necessidade de transformar a natureza para se beneficiar, como o caso de praias e desembocaduras. Estes locais atraem diferentes usuários e, relacionado à questões econômicas, o turismo, a pesca e a navegação se destacam. Para facilitar o uso destes espaços o homem adequa a natureza à sua comodidade e uso, construindo estruturas costeiras, como os molhes, que irão beneficiar por um lado, mas com graves riscos aos equilíbrio morfodinâmico e hidrodinâmico costeiro. Este trabalho oportunizou conhecer um pouco mais sobre os prós e contras de estruturas como molhes.

A engenharia costeira tem se desenvolvido, porém é preciso olhar atentamente para a questão da real necessidade dessas obras. No caso do canal lagunar da Lagoa de Tramandaí, o guia corrente existente atua na função da estabilidade, e por não se estender além da zona de arrebentação, não gera barreiras à deriva litorânea, ou seja, ambas as praias se encontram em equilíbrio sedimentar. Um minucioso estudo sobre a instalação da estrutura costeira que contemple dados com séries de ondas longas e outras variáveis morfodinâmicas e hidrodinâmicas, se faz necessário para que não ocorram resultados com efeitos contrários aos projetados.

Os resultados dos modelos físicos e numéricos fornecem um importante conhecimento sobre o comportamento da linha de costa, tanto com possibilidade de aplicações a gestão costeira, quanto para confirmar a deposição no lado barlar da estrutura. Ambos os modelos indicaram o mesmo tipo de impacto, com aumento da praia no lado S, e erosão no lado N.

Devido ao dinamismo da linha de costa, qualquer obra de engenharia que seja ali seja construída deverá alterar o equilíbrio natural deste ambiente. Cabe aos administradores e gestores públicos, bem como a comunidade, entender que a longo prazo, não há possibilidade de frear a energia deste ambiente costeiro-oceânico. Assim sendo, se pontualmente o problema é solucionado, no entorno da estrutura redondezas devem ocorrer modificações ambientais.

Os planos de gestão integrada devem prever as futuras condições das desembocaduras, principalmente quanto as variações batimétricas e migrações da linha de praia, uma vez que este ambiente responde de forma relativamente rápida às mudanças naturais do clima do aumento do nível do mar. Perante os possíveis impactos morfodinâmicos, socioambientais e econômicos da instalação dos molhes, mas reconhecendo, também, aspectos positivos e, na perspectiva de um aumento dos riscos devido à evolução climática futura, a decisão adequada de construir ou não esta obra costeira terá que ser dada no sentido de um planejamento e gestão integrados. Se existe a intenção da construção dos molhes, é importante que o Plano de Gerenciamento Costeiro contemple medidas mitigadoras, que a comunidade participe da elaboração do EIA e que os órgãos ambientais proponham o estabelecimento de uma zona de não ocupação, principalmente para proteger a população e, no que concerne às possíveis mudanças do NM.

Após a avaliação dos aspectos positivos e impactos negativos da construção de estruturas rígidas costeiras do tipo molhes e também, após a aplicação dos resultados de modelagens e observação das possíveis mudanças que podem ocorrer na linha de costa fica evidente a necessidade de integrar os estudos científicos específicos, com a experiência da comunidade que vive naquele ambiente somados ao conhecimento de engenharia costeira para a discussão da autêntica necessidade de instalação deste tipo de obra costeira e quais suas possíveis consequências ao ambiente natural e antrópico.

### **Referências bibliográficas**

- Alfredini, P.; Arasaki, E. (2009) - *Obras e Gestão de Portos e Costas - A Técnica Aliada ao Enfoque Logístico*. 2ª. ed. São Paulo: Blucher.
- Almeida, L.E.S.B.; Rosauo, N.M.L.; Toldo Jr., E.E. (1997) - Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* - ABRH. Vitória, ES, Brasil. CD-ROM.

- Almeida, L.E.S.B.; Rosauo, N.L.; Toldo JR., E E.; Gruber, N.L.S. (1999) - Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. In: *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* - ABRH. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Andrade, M.M.; Toldo, E.E.; Nunes, J.C.R. (2018) - Tidal and subtidal oscillations in a shallow water system in southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 66: 245-254. DOI: 10.1590/s1679-87592018017406603.
- Aquino, C.A. (2003) - *Calibração e aplicação do modelo numérico GENESIS nas praias de Tramandaí e Imbé - RS*. 101p., Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- Barragán, J.M.; Andrés, M. (2016) - Aspectos básicos para una gestión integrada de las áreas litorales de España: conceptos, terminología, contexto y criterios de delimitación. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 16(2): 171-183 DOI: 10.5894/rgci638.
- Barragán, J.M. (2016) - *Política, gestão e litoral: uma nova visão da Gestão Integrada de Áreas Litorais*. 685 p., Madrid, Espanha: Editorial Tébar Flores. ISBN: 8473605632.
- Bettencourt, P.; Alcobia, S.; Silva, N. (2009) - Environmental Impact Assessment of the Douro Jetties: a success case. In: *29th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment* - IAIA. Accra, Gana.
- Bruun, P.; Gerritsen, F. (1960) - *Estabilidade de Enseadas Costeiras*. 123p. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, Países Baixos. ISBN: 978-0720416015.
- Bruun, P. (1978) - *Stability of coastal inlets - Theory and Engineering*. 510p. Amsterdam: Elsevier.
- Bush, D.M.; Webb, R.M.T.; Liboy, J.G.; Hyman, L.; Neal, W.J. (1995) - *Living with the Puerto Rico Shore*. 216p. Duke University Press. ISBN: 978-0-8223-1590-2.
- Carr, E.E.; Kraus, N.C. (2001) - *Morphologic asymmetries at entrances to tidal inlets*. 16p. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note CHETN-IV-33, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/4124/f73e4defb789d00a2b122f5a4f1ef628fddc.pdf>
- Castelle, B.; Bourget, J.; Molnar, N.; Strauss, D.; Deschamps, S. Tomlinson, R. (2006) - Dynamics of a wave-dominated tidal inlet and influence on adjacent beaches, Currumbin Creek, Gold Coast, Australia. *Coastal Engineering*, 54: 77-90. DOI: 10.1016/j.coastaleng.2006.08.007
- Corne, N.P. (2009) - The implications of coastal protection and development on surfing. *Journal of Coastal Research*, 25(2): 427-434. DOI: 10.2112/07-0932.1.
- Cornell, S.; Frey, N.; Georgiou, I.; Hanegan, K.C.; Hung, L.; Kulp, M.; Maygarden, D.; Yarnal, B. (2019) - *Hard Structures and Coastal Modifications through Mimicking Natural Processes*. Disponível em: <https://www.e-education.psu.edu/earth107/node/1065>
- Davis Jr., R.A.; Fitzgerald, D.M. (2004) - *Beaches and Coasts*. Oxford - UK: Blackwell Science Ltd., 419 p.

- Dean, R.G. (1988) - Sediment interaction at modified coastal inlets: processes and policies. In: Aubrey, D.G.; Weishar, L. (orgs.), *Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets*, pp.412-439, New York: Springer Verlag.
- DIRETORIA DE OBRAS HIDRÁULICA. Gerencia de Obras Costeiras - Inspeção técnica - Barra do Rio Mampituba. Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas - DEOH - SC, 1999.
- Evans, G. (2008) - Man's Impact on the Coastline. *Journal of Iberian Geology*, 34(2): 167-190. ISSN: 1698-6180.
- Fitzgerald, D.M. (1988) - Shoreline erosional-depositional process associated with tidal inlets. In: Aubrey, D.G.; Weishar, L. (orgs.), *Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets*, pp.186-225, New York: Springer Verlag.
- Flor-Blanco, G.; Flor, G.; Pando, L.; Abanades, J. (2015) - Morphodynamics, sedimentary and anthropogenic influences in the San Vicente de la Barquera estuary (North Coast of Spain) *Geologica Acta: an international earth science journal*, 13(4): 279-295. ISSN: 1695-6133.
- Flor-Blanco, G.; Pando, L.; Morales, J. A.; Flor, G. (2015) - Evolution of beach–dune fields systems following the construction of jetties in estuarine mouths (Cantabrian coast, NW Spain). *Environmental Earth Sciences*, 73: 1317-1330. DOI: 10.1007/s12665-014-3485-1
- Freitas, J.G.; Dias, J.A. (2012) - Praia da Rocha (Algarve, Portugal): um paradigma da antropização do litoral. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 12(1):31-42.
- Garel, E.; Sousa, C.; Ferreira, O.; Morales, J.A. (2014) - Decadal morphological response of an ebb-tidal delta and down-drift beach to artificial breaching and inlet stabilization. *Geomorphology*, 216: 13-25. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.03.031.
- Hayes, M.O. (1980) - General morphology and sediment patterns in tidal inlets. *Sedimentary Geology*, 26: 139-156.
- Jung, G.B.; Toldo Jr., E.E. (2009) - Estrutura vertical da corrente longitudinal na praia de Tramandaí, RS, Brasil. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Estudos do Quaternário - ABEQUA*. La Plata, Argentina, pp. 25-32.
- Kana, T.W.; Hayter, E.J.; Work, P.A. (1999) - Mesoscale sediment transport at southeastern US tidal inlets: conceptual model applicable to mixed energy settings. *Journal of Coastal Research*, 15: 303-313.
- Komar, P.D.; Lizarraga-Arciniega, J.R.; Terich, T.A. (1976) - Oregon coast shoreline changes due to jetties. *Journal of Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division*, 102: 13-30.
- Kraus, N. (2009) - Engineering of tidal inlets and morphologic consequences. In: Kim, Y.C. (org.), *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, pp.867-900, California State University, Los Angeles, USA. DOI: 10.1142/6914.

- Kraus, N.C. (2005) - Navigation structures. In: Schwartz, M. (ed), *Encyclopedia of coastal science*, pp.684-685, Springer.
- Kraus, N.C.; Wamsley, T.V. (2003) - *Coastal Barrier Breaching, Part 1: Overview of Breaching Processes*. 15p. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note CHETN-IV-56, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Lima, S.F.; Almeida, L.E.; Toldo Jr., E.E. (2001) - Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 28(2): 99-107.
- Mallinson, D.J.; Culver, S.J.; Riggs, S.R.; Walsh, J.P.; Ames, D.; Smith, C.W. (2008) - *Past, Present and Future Inlets of the Outer Banks Barrier Islands, North Carolina*. 28 p. Department of Geological Sciences. East Carolina University. Disponível em: <http://core.ecu.edu/geology/mallinsond/PPeF%20Inlet%20Book.pdf>
- Mohanty, P.K.; Barika, S.K.; Kara, P.K.; Beheraa, B.; Mishrab, B. (2015) - Impacts of Ports on shoreline change along Odisha coast. *Procedia Engineering*, 116: 647-654. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.339
- Motta, V. F. Relatório geral sobre o estudo em modelo reduzido para a regularização da embocadura do rio Tramandaí, 70p., Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, 1965.
- Noshi, Y.; Udab, T.; Kobayashia, A.; Miyaharac, S. Serizawac, M. (2015) - Beach Changes Observed in Phan Rang City in Southeast Vietnam. *Procedia Engineering*, 116: 163-170.
- Pilkey, O.H.; Wright, H.L. (1988) - Seawalls versus beaches. *Journal of Coastal Research*, 4: 41-64.
- Rodríguez-Ramírez, A.; Morales, J.A., Delgado, I., Cantano, M. (2008) - The impact of man on the morphodynamics of the Huelva coast (SW Spain). *Journal of Iberian Geology* (ISSN 1886-7995), 34(2): 313-327. <http://www.ucm.es/info/estratig/journal.htm>
- Rosati, J.D.; Kraus, N. (2009) - Sea level rise and consequences for navigable coastal inlets. *Shore e Beach*, 77(4): 29-35.
- Scherer, M.; Asmus, M.L. (2016) - Ecosystem-Based Knowledge and Management as a tool for Integrated Coastal and Ocean Management: A Brazilian Initiative. *Journal of Coastal Research*, Special Issue (ISSN 0749-0208), 1(75): 690-694.
- Seabergh, W.C.; Thomas, L.J. (2002) - *Weir Jetties at Coastal Inlets: Part 2, Case Studies*. 22 p., U.S Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, MS.
- Silva, A.F.; Toldo Jr, E.E.; Weshenfelder, J. (2017) - Morfodinâmica da desembocadura da lagoa de Tramandaí (RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 44(1):155-166.
- Silva, A.F.; Toldo Jr, E.E.; Rooijen, A.V.; Abreu, C.F.; Rodrigues Filho, J.R.; Rocha, R.S.; Aquino, R.S. (no prelo) - Inundação Costeira por Elevação do Nível do Mar em Imbé e Tramandaí -RS. *Revista Brasileira de Cartografia*.

- Souza, C.R.G. (2009) - A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9(1):17-37.
- Sprovieri, F. (2018) - Clima de Ondas, Potencial Energético e o Transporte de Sedimentos no Litoral Norte do RS. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Sprovieri, F.; Toldo Jr., E.E.; Farina, F. 2019. Reconstruction and Analysis of Wave Climate in Southern Brazil. *Geo-Marine Letters*, submetido.
- Stanica, A.; Dan, S.; Jiménez, J.A.; Ungureanu, G.V. (2011) - Dealing with erosion along the Danube Delta coast. The CONSCIENCE experience towards a sustainable coastline management. *Ocean e Coastal Management*, 54:898-906.
- Toldo Jr., E.E.; Almeida, L.E.S.B. (2003) - A linha d'água como indicadora da posição da linha de praia. In: *Anais do IX Congresso Brasileiro de Estudos do Quaternário - ABEQUA*. Recife, Brasil, pp. 1-3.
- Tomazelli, L.J.; Villwock, J.A. (1992) - Considerações Sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Pesquisas*, 19: 3-12.
- Wang, P.; Beck, T.M. (2012) - Morphodynamics of an Anthropogenically Altered Dual-Inlet System: John's Pass and Blind Pass, West-Central Florida, USA. *Marine Geology*, 291: 162-175. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.06.001>.



## **Capítulo 5**

### **Considerações Finais**

## 5.1 Síntese Integradora

Visando contribuir para o conhecimento do comportamento da desembocadura da Lagoa de Tramandaí e entender os processos resultantes de sua interação com as adjacências para subsidiar a gestão costeira da região foram desenvolvidos estudos e apresentados nos artigos que compõem esta Tese.

Estes artigos estão integrados devido à transdisciplinaridade do tema que se propôs na presente tese, ou seja, compreender a dinâmica dos sedimentos e a hidrodinâmica e estabilidade da desembocadura lagunar em um litoral dominado por ondas; e realizar a aplicação direta destes resultados na gestão da estabilidade da desembocadura da Lagoa de Tramandaí. Assim, tornando possível relacionar os fatores responsáveis pela morfodinâmica do ambiente costeiro com as transformações feitas pelo homem.

Primeiramente, no artigo intitulado “Morfodinâmica da embocadura da Lagoa de Tramandaí”, se fez uma análise do comportamento e atuação da desembocadura sem a presença de estruturas antrópicas. A partir da integração dos dados hidrodinâmicos, sedimentológicos e morfológicos foi possível compreender e definir os principais fatores que contribuem para a migração do canal. Com a fixação da margem esquerda da embocadura, ocorreram transformações nesta dinâmica.

O guia corrente construído exerce sua função, de fixar a embocadura, até o presente e, devido ao prisma de maré atuante na região permanecer constante, a área da seção transversal também se mantém praticamente com as mesmas dimensões. A interação do prisma de maré com a deriva litorânea movimenta os sedimentos que entram e saem pelo canal. Em alguns determinados momentos, com a migração da margem direita e, provavelmente, das barras (bancos associados), há uma tendência de se condensar uma maior quantidade de sedimentos no canal, necessitando de dragagens para possibilitar o acesso das embarcações para o seu interior. A partir das relações de estabilidade calculadas foi possível identificar que a desembocadura da Lagoa de Tramandaí é instável.

Para identificar outras variáveis importantes que atuam em interação com a deriva litorânea e o prisma de maré e, assim, contribuem para dinâmica da desembocadura e as praias adjacentes e o quanto toda região é suscetível as mudanças climáticas que estão acontecendo, foi elaborado o segundo artigo, intitulado: “Inundação costeira por elevação do nível do mar em Imbé e Tramandaí - RS”. Neste artigo, com base em levantamentos topográficos (método GNSS e LIDAR),

e calculadas as cotas de inundação, a partir do galgamento e de dados do IPCC, foi possível produzir mapas como ferramentas de gestão costeira, que ficarão disponíveis para comunidade em geral. A partir do mapeamento da inundação costeira foi possível identificar as áreas vulneráveis à subida do nível do mar e, também, realizar uma análise comparativa entre os municípios de Imbé e Tramandaí.

Como já se tinha realizado um levantamento histórico da área no artigo 1, foi possível estabelecer relações da ocupação antrópica com as áreas suscetíveis. Ou seja, Imbé ocupou a região do antigo Braço Morto, sendo ali uma região com baixa elevação topográfica, estando mais vulnerável à inundação. Além disso, neste município, exatamente na área (foco) do artigo 2 as dunas estão ausentes, deixando a região mais vulnerável quando comparada com Tramandaí, que possui as dunas preservadas. Em Imbé, apenas recentemente, em 2013, foi liberado no Plano Diretor a verticalização, sendo que, até então, uma menor população se encontra suscetível. Fato não encontrado em Tramandaí, no qual a verticalização é marcadamente presente.

Com a possibilidade de um maior adensamento populacional na região, devido a essa alteração do Plano Diretor, torna-se urgente a integração das classes de usuários da desembocadura e das adjacências para realizar uma gestão costeira integrada em associação com os estudos técnicos-científicos já existentes.

Com o conhecimento de que existe uma intenção de implementação dos molhes na desembocadura de Tramandaí e que o ambiente sairá do equilíbrio natural, no mínimo por um determinado tempo, se elaborou o terceiro artigo “Estabilização do canal da embocadura da Lagoa de Tramandaí - RS”. Esse manuscrito apresenta, de uma maneira geral, as consequências da instalação de uma obra costeira. Comumente, os molhes servem para: (1) fixar a embocadura; (2) permitir um canal para navegação e (3) melhorar a drenagem do corpo hídrico (baía, laguna, etc.). Assim, foi realizado um levantamento dos aspectos que beneficiam toda região com a implantação dos molhes e também, dos impactos que pode ocasionar.

Com isso foi possível observar que, por um lado a intenção de proteção da costa favorece a comunidade que se encontra na retaguarda ou defrontante com a linha de costa, mas ao mesmo tempo se a obra costeira não tiver um adequado planejamento incluindo dados oceanográficos e meteorológicos, esta obra pode até mesmo aumentar o risco da população. Ou seja, uma obra como molhe pode fixar a desembocadura de um lado, mas também causar erosão de outro e, com isso, outra obra acaba sendo necessária ou até mesmo a remoção da população.

Com uma obra costeira a navegação pode ser favorecida, também a areia de dragagens para manter a profundidade do canal pode ser utilizada em engordamento de praias. Em contrapartida, após a instalação desta mesma obra pode ocorrer variação na linha de costa, perda sedimentar ocasionada pelas dragagens. Ou seja, a modificação de um ambiente natural vai de alguma forma apresentar impactos positivos e negativos, dependendo do foco do olhar e da intenção da obra costeira.

A partir do estudo de caso do local e com o intuito de se observar como ocorriam o comportamento das adjacências da embocadura após a colocação dos molhes e das possíveis mudanças que essa estrutura pode causar, foram obtidos dados de modelagens física e numérica realizadas e analisadas em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Neste mesmo estudo de caso foram feitas associações com os prós e contras da instalação dos molhes, além de estabelecer uma relação com os artigos anteriores.

A desembocadura da Lagoa de Tramandaí já se encontra fixada pelo guia-corrente. A construção de molhes nesse local, além dos elevados gastos públicos, pode modificar toda estrutura e disposição dos bancos arenosos adjacentes a região, além da possibilidade de alteração em todo transporte sedimentar, causando deposição no lado barlamar e erosão no lado sotamar, bem como dependendo do comprimento do molhes esses fenômenos podem ser mais intensos do que as previsões. Além dos impactos ecológicos possíveis, como o caso de modificação na pesca interativa com o boto.

Assim, partindo do início, “a base” (Artigo 1), aonde se observou o comportamento e atuação da desembocadura, passando pelo “coração da Tese”, o centro (Artigo 2), no qual se conheceu um pouco mais as adjacências da embocadura e, chegando na “espiral da Tese” (Artigo 3), incluindo a influência antrópica, um pouco mais atuante, com a instalação de uma estrutura de proteção costeira foi possível entender como era o comportamento natural desse sistema, como é atualmente e como ele pode se tornar a partir de maiores mudanças antrópicas. Confirmando o quão necessária é a integração de estudos que abordam distintas variáveis e ferramentas para o conhecimento de um ambiente com foco em sua preservação e gestão costeira eficiente.

Em face desses estudos se percebeu o quão escasso ainda estão os dados oceanográficos, meteorológicos, topográficos disponíveis para pesquisas detalhadas e também, a falta geral de conscientização dos usuários da zona costeira, e que ambos assuntos prejudicam a gestão costeira. De certa forma, fica evidente a

importância de pesquisas a longo prazo de coletas destes dados, também uma maior participação dos públicos universitário e comunidades locais nas discussões deste espaço costeiro, tentando transformar o fato de que as pessoas geralmente resistem em fazer mudanças comportamentais desconfortáveis para melhorar os espaços em que se encontram.

## 5.2 Recomendações para trabalhos futuros

No decorrer da elaboração de cada artigo, foi possível perceber a falta de outras variáveis que seriam de tamanha importância para se aprofundar em cada assunto e apresentar, também, técnicas mais elaboradas para discussão e conhecimento. Desta maneira, foi preciso simplificar algumas partes da pesquisa. Apresenta-se abaixo algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Desenvolver a modelagem numérica de diferentes tipos de estruturas de proteção costeira com uma maior série de dados de ondas e, também, que esse modelo contemple distintas variáveis das que aqui foram observadas. No modelo deve ser possível adicionar a desembocadura (no GENESIS não foi possível).

- Realizar um acompanhamento da migração da margem direita para obter conhecimento dos diferentes valores da área da seção transversal e sua influência na morfodinâmica do canal.

- Aplicar as cotas de inundação costeira elaboradas nesta Tese em um modelo múltiplo, que não subestime áreas de inundação costeira, como pode ocorrer com o modelo banheira. E conjuntamente, que seja possível obter uma maior série de dados de marés e uma maior extensão dos dados LIDAR para a região da desembocadura da Lagoa de Tramandaí.

- Elaborar mapas interativos da zona costeira no qual a população possa ter acesso e conhecer o que pode ocorrer e quem está mais suscetível à subida do nível do mar. Auxiliando ao governo local na gestão e na organização do espaço.

- Aplicar ferramentas para analisar a influência das dunas nos processos de galgamento, *overwash*, *overtopping*, entre outros, para que se possa discutir sua importância diante da inundação costeira.

- Desenvolver futuras pesquisas e discussões com os gestores ambientais para aplicação nas mudanças da legislação incluindo programas de urbanização que limitem o desenvolvimento a zonas apropriadas e que promovam a restauração e

reabilitação de ecossistemas deteriorados e a conservação dos ecossistemas ainda saudáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, J.C.J.H.; BOTZEN, W.J.W.; EMANUEL, K.; LIN, N.; DE MOEL, H.; MICHELKERJAN, E.O. 2014. Evaluating flood resilience strategies for coastal megacities. **Science**, 344.

ALMEIDA, L.E.S.B.; ROSAURO, N.M.L.; TOLDO JR., E.E. 1997. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória, ABRH, v.1, p. 7.

ALMEIDA, L.E.S.B.; ROSAURO, N.L.; TOLDO JR., E.E. e GRUBER, N. L. S. Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 1999. 8 p.

ASMUS, M.L.; KITZMANN, D.I.S.; LAYDNER, C.; TAGLIANI, C.R.A. 2006. **Gestão costeira no Brasil: instrumentos, fragilidades e potencialidades**. 16p. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/2053>

BAIRRÃO, M.; NEVES, M.G.; REISA, M.T.; PINTO, F.T. 2016. Galgamento de uma estrutura portuária protegida por um quebra-mar submerso: o caso do Porto de Leixões, Portugal. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, 16(2):121-131.

BARRAGÁN, J.M. 2016. **Política, gestão e litoral: uma nova visão da Gestão Integrada de Áreas Litorais**. 685 p., Madrid, Espanha: Editorial Tébar Flores.

BETTENCOURT, P.; ALCOBIA, S.; SILVA, N. 2009. Environmental Impact Assessment of the Douro Jetties: a success case. In: 29th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment - IAIA. Accra, Gana.

BIJLSMA, L., EHLER, C.N., KLEIN, R.J.T., KULSHRESTHA, S.M., MCLEAN, R.F., MIMURA, N., NICHOLLS, R.J., NURSE, L.A., PEREZ NIETO, H., STAKHIV, E.Z., TURNER, R.K.; WARRICK, R.A. 1996. **Coastal zones and small islands**. In: WATSON, R.T., ZINYOWERA, M.C. e MOSS, R.H., Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, pp. 289-324, Cambridge University Press, Cambridge.

BONETTI, J.; KLEIN, A. H. F.; MULER, M.; DE LUCA, C. B.; SILVA, G. V.; TOLDO JR., E. E.; M. GONZÁLEZ. 2013. Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment. In: FINKL, C. (ed.) **Coastal Hazards**. Chapter 16. Coastal Research Library Series. Springer, Dordrecht, pp. 423-442.

BRASIL. Lei Federal nº. 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC. Brasília, Diário Oficial da União, 16 de maio de 1988.

- BRUUN, P.; GERRITSEN, F. 1960. **Stability of coastal inlets**. North-Holland Publishing Company, 123p.
- BRUUN, P. 1988. The Bruun Rule of erosion by sea-level rise - a discussion on large-scale two and three-dimensional usages. **Journal of Coastal Research**, 4(4):627-648.
- COCHARD, R. 2013. Natural hazards mitigation services of carbon-rich ecosystems. In: R. Lal, K. Lorenz, R. F. Huttli, B. U. Schneider, e J. von Braun (Eds.), **Ecosystem services and carbon sequestration in the biosphere**. Dordrecht: Springer, p. 221-294.
- COOPER, H. M.; FLETCHER, C. H.; CHEN, Q.; BARBEE, M. M. 2013. Sea-level rise vulnerability mapping for adaptation decisions using LIDAR DEMs. **Progress Physical Geographi**, vol. 37, pp. 745-766.
- CORNELL, S.; FREY, N.; GEORGIU, I.; HANEGAN, K.C.; HUNG, L.; KULP, M.; MAYGARDEN, D.; YARNAL, B. 2019. **Hard Structures and Coastal Modifications through Mimicking Natural Processes**. Disponível em: <https://www.e-education.psu.edu/earth107/node/1065>.
- DAVIS JR., R.A.; FITZGERALD, D.M. 2004. **Beaches and Coasts**. Oxford - UK, Blackwell Science Ltd., 419p.
- DEMIR, I.; KRAJEWSKI, W.F. 2013. Towards an integrated Flood Information System: Centralized data access, analysis, and visualization. **Environmental Modelling e Software**, v. 50, p. 77-84.
- DIAS, J. M. 2005. Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. **Encontros Científicos**, v. 1, p. 8-28.
- FITZGERALD, D.M. 1988. Shoreline erosional-depositional process associated with tidal inlets. In: Aubrey, D. G.; Weishar, L. (Ed.). **Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets**. New York: Springer Verlag, 1988, p.186-225.
- FITZGERALD, D.M. 1996. Geomorphic Variability and morphologic and sedimentologic controls on tidal inlets. **Journal of Coastal Research**, v. 23, p. 47-71.
- FITZGERALD, D.M.; KULP, M.; PENLAND, S.; FLOCKS, J.; KINDINGER, J. 2004. Morphologic and stratigraphic evolution of muddy ebb-tidal deltas along a subsiding coast: Barataria Bay, Mississippi River Delta. **Sedimentology**, v. 51, p. 1157-1178.
- FITZGERALD, D.M. 2005. Tidal Inlets. In: Schwartz, M.L. (Ed.). **Encyclopedia of Coastal Science**. Dordrencht, Springer, p. 958-965.
- FLOR-BLANCO, G.; PANDO, L.; MORALES, J.A.; FLOR, G. 2015. Evolution of beach–dune fields systems following the construction of jetties in estuarine mouths (Cantabrian coast, NW Spain). **Environmental Earth Science**, v. 73, p. 1317-1330.
- FORTUNATO, A.B.; CLÍMACO, M.; OLIVEIRA, F.; OLIVEIRA, A.; SANCHO, F.; FREIRE, P. 2008. Dinâmica Fisiográfica da Orla Costeira: Estudos de Reabilitação e Protecção. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 8, n. 1, p. 45-63.



GAGLIARDI, M.H. 2013. **Análise de riscos costeiros a eventos atmosféricos extremos no litoral sul do Estado de São Paulo. Estudo de caso na região da desembocadura de Cananéia. São Paulo.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Programa de Pós Graduação em Ciências, Instituto Oceanográfico, 238p.

GALLIEN, T. W.; SANDERS, B.; FLICK, R. 2014. Urban coastal flood prediction: Integrating wave overtopping, flood defenses and drainage. **Coastal Engineering**, v. 91, p. 18-28.

GERMANI, Y.F.; FIGUEIREDO, S.A.; CALLIARI, L.J.; TAGLIANI, C.R.A. 2015. Vulnerabilidade costeira e perda de ambientes devido à elevação do nível do mar no litoral sul do RS. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 15, n. 1, p. 121-131.

GUIMARÃES, P.V.; FARINA, L.; TOLDO, E.E. 2014. Analysis of extreme wave events in the southern coast of Brazil. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 2, n. 6, p. 4363-4391.

GUIMARÃES, P.V.; FARINA, L.; TOLDO JR.; E.E., DIAZ-HERNANDEZ, G.; AKHMATSKAYA, E. 2015. Numerical simulation of extreme wave runup during storm events in Tramandaí Beach, Rio Grande do Sul, Brazil. **Coastal Engineering**, v. 95, p. 171-180.

GRUBER, N.L.S.; NICOLODI, J. 1998. Limites externos da antepraia da plataforma continental de Tramandaí - RS. **GEOSUL**, v. 2, p. 235-238.

HAYES, M.O. 1980. General morphology and sediment patterns in tidal inlets. **Sedimentary Geology**, v. 26, p. 139-156.

HINKEL, J., LINCKE, D., VAFEIDIS, A.T., PERRETTE, M., NICHOLLS, R.J., TOL, R.S., MARZEION, B., FETTWEIS, X., IONESCU, C., LEVERMANN, A. 2014. Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 111: 3292-3297.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2018. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IDLLALÈNE, S. 2009. **Vers une politique du littoral au Maroc: Les mesures d'accompagnement pour la mise en place des Plans d'Action CAP Nador**. 16 p. Disponível em: <http://www.eucc.nl/en/capnador/annex5-2.pdf>.

IDLLALÈNE, S.; CAUWENBERGH, N. V. 2016. Improving legal grounds to reduce vulnerability to coastal flooding in Morocco - A plea for an integrated approach to adaptation and mitigation. **Ocean and Coastal Management**, v. 120, p. 189-197.

KRAUS, N.C. 2009. Engineering of tidal inlets and morphologic consequences. In: Y.C. Kim (Ed.), **Handbook of coastal and ocean engineering**. World Scientific. p. 867-900.

KRAUS, K.W.; DOYLE, T.W.; DOYLE, T.J.; SWARZENSKI, C.M.; FROM, A.S.; DAY, R.H. 2009. Water level observations in mangrove swamps during two hurricanes in Florida. **Wetlands**, v. 29, n. 1, p. 142-149.

LOWE, R.J.; FALTER, J.L.; BANDET, M.D.; PAWLAK, G.; ATKINSON, M.J.; MONISMITH, S.G. 2005. Spectral wave dissipation over a barrier reef. **Journal of Geophysical Research**, 110. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2004JC002711/full>.

MARTINS, L.R.; CORRÊA, I.C. **Morphology and sedimentology of southwest Atlantic coastal zone and continental shelf from Cabo Frio (Brazil) to Peninsula Valdés (Argentina)**. Porto Alegre: UFRGS-Ig-CECO, 1996. 74 p.

MCGRANAHAN, G.; BALK, D.; ANDERSON, B. 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. **Environmental Urbanism**, v. 19, p. 17-37.

MOTTA, V.F. 1967. **Estudo em modelo reduzido para a regularização da desembocadura lagunar de Tramandaí/Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 69p. (Relatório Interno).

NEVES, C.F.; MUEHE, D. 2008. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, n. 27, 80p.

NICOLODI, J.L.; PETERMANN, R.M. 2010. Potential vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental, social, and technological aspects. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 184-204.

NICHOLLS, R.J.; LEATHERMAN, S.P.; DENNIS, K.C.; VOLONTE, C.R. 1995. Impacts and responses to sea-level rise: qualitative and quantitative assessments. **Journal of Coastal Research**, v. 14, p. 26-43.

NICHOLLS, R.J.; WONG, P.P.; BURKETT, V.R.; CODIGNOTTO, J.; HAY, J.; MCLEAN, R.; RAGOONADEN, S.; WOODROFFE, C.D. 2007. Coastal systems and low-lying areas 2007. In: Parry, M.L., et al. (Eds.), **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 315-356. <http://ro.uow.edu.au/scipapers/164>.

NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. **Science**, v. 328, p. 1517-1520.

PBMC. 2016. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. In: MARENGO, J.A.; SCARANO, F.R. (eds.). COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, 184 p.

RAJI, O.; DEL RÍO, L.; GRACIA, F.J.; BENAVENTE, J. 2011. The use of LIDAR data for mapping coastal flooding hazard related to storms in Cádiz Bay (SW Spain). **Journal of Coastal Research**, v. 64, p.1881-1885.

RUIZ-RAMÍREZ, J.D.; EUÁN-ÁVILA, J.I.; RIVERA-MONROY, V.H. 2019. Vulnerability of Coastal Resort Cities to Mean Sea Level Rise in the Mexican Caribbean, **Coastal Management**, DOI: 10.1080/08920753.2019.1525260

ROSATI, J.D.; KRAUS, N. 2009. Sea Level Rise and Consequences for Navigable Coastal Inlets. **Shore e Beach**, 77(4):29-35.

SALLENGER, A.H. 2000. Storm Impact Scale for Barrier Islands. **Journal of Coastal Research**, 16(3): 890-895.

SCHERER, M.E.G.; SANCHES, M.; NEGREIROS, D. 2009. Gestão das Zonas Costeiras e as Políticas Públicas no Brasil: um diagnóstico. In: Barragán, J. M.; Arenas, P.; Chica Ruiz, J. A.; Onetti, J.G.; Sanabria J. G. (Orgs.), **Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamerica: un diagnóstico Necesidad de Cambio**, p.291-330, Red Ibermar, Espanha Disponível online em <http://hum117.uca.es/ibermar/Resultados%20y%20descargas/publicaciones/brasil>

SEABERGH, W.C.; KRAUS, N.C. 2003. Progress in Management of Sediment Bypassing at Coastal Inlets: Natural bypassing, Weir Jetties, Jetty Spurs, and Engineering Aids in Design. **Coastal Engineering Journal**, v. 45, n. 4, p. 533-563

SIEGLE, E.; HUNTLEY, D.A.; DAVIDSON, M.A. 2004. Physical Controls on the Dynamics of Inlet Sandbar Systems. **Ocean Dynamics**, v. 54, p. 360-373.

SILVA, A.F.; TOLDO JR, E.E.; WESHENFELDER, J. 2017. Morfodinâmica da embocadura da lagoa de Tramandaí (RS, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, 44(1): 155-166.

SIMCOSTA. 2015. Disponível em: <http://www.simcosta.furg.br/noticias>.

TOLDO JR., E.E.; DILLENBURG, S.R.; CUNHA, L.O.B.P.; ALMEIDA, L.E.S.B.; TABAJARA, L.L.; MARTINS, L.R. 1993. Parâmetros Morfodinâmico da Praia de Imbé, RS, **Revista PESQUISAS**, v. 19, p. 27-32.

TOLDO JR, E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B. 2003. A linha d'água como indicadora da posição da linha de praia. In: IX CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO - Abequa. **Anais...** Recife/PE.

TRUITT, C. 1992. **Tidal inlet dynamics. Sarasota Bay National Estuary Program.** Mote Marine Laboratory Technical Report n. 266A. 10 p. Available from: Mote Marine Laboratory Library.

USACE/CERC (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS/ COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER). 2002. Coastal Engineering Manual. Washington, D.C: U. S. Government Printing Office, 6 v.

VILLWOCK, J.A.; MARTINS, L.R. 1972. Depósitos lamínicos de pós-praia, Cassino (RS). **Pesquisas**, 1(1): 69-75.

WADEY, M. P.; COPE, S. N.; NICHOLLS, R. J.; MCHUGH, K.; GREWCOCK, G.; MASON, T. 2015. Coastal flood analysis and visualization for a small town. **Ocean e Coastal Management**, v. 116, p. 237-247.

WESCHENFELDER, J. 1996. **Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, estado do Rio Grande do Sul, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 132p.

WDOWINSKI, S.; BRAY, R.; KIRTMAN, B.P.; WU, Z. 2016. Increasing flooding hazard in coastal communities due to rising sea level: Case study of Miami Beach, Florida. **Ocean e Coastal Management**, v. 126, p. 1-8.

## ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

**"SUBSÍDIOS PARA GESTÃO COSTEIRA DA DESEMOCADURA DA LAGOA DE TRAMANDAÍ"**

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autora: Ana Fátima da Silva

Orientador: Prof. Dr. Elírio Toldo Jr.

Examinador: Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho

Data: 30/8/2019

Conceito:  
BOM

### PARECER:

Ana Fátima da Silva, doutoranda do Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, defendeu sua tese de doutorado intitulada "Subsídios para Gestão Costeira da Desemocadura da Lagoa de Tramandaí", sob orientação dos professores Elírio Ernestino Toldo Jr. e Jair Weschenfelder, defensor que ocorreu no dia 30 de agosto de 2019.

A doutoranda optou em realizar sua tese na modalidade artigos científicos, sendo submetido três artigos científicos juntamente com co-autoras para três revistas (periódicos) nacionais classificados pelo Qualis CAPES como B3<sup>B2</sup> na área de Geociências. Os periódicos selecionados foram Pesquisas em Geociências (B2, publicado em 2017 n° 44(1), páginas 155 a 166), Revista Brasileira de Cartografia (B2, submissão em abril de 2019) e Revista de Gestão Costeira Integrada (B3, submissão em julho de 2019).

No geral a tese encontra-se bem apresentada, formatada, com poucos erros de português e ortografia, tanto ao longo do texto, bem como na grafia dos três artigos científicos. Entretanto a preocupação de autoras quanto as citações bibliográficas ao longo do texto, bem como nas referências bibliográficas, poucos erros são detectados, demonstrando cuidado e responsabilidade.

As 116 páginas de sua tese estão distribuídas principalmente nos três artigos científicos, num total de 78 páginas, sendo 31 páginas no artigo 2, 26 páginas no artigo 3 e 21 páginas no artigo 1, resumido neste para 12 páginas conforme publicação no n° 44(1) de Revista Pesquisas em Geociências (pg. 155 a 166), ano 2017.

Ao longo da tese observa-se certa indefinição de autoria quanto ao uso de palavras - chaves embocadura ou desembocadura da lagoa de Tramandaí, bem como dos limites territoriais geográficos - geomorfológicos de seu trabalho, envolvendo a zona costeira e/ou zona litorânea.

Ainda é detectado o uso de algumas siglas sem a apresentação da denominação em extenso, no que parece normal para a autora, entretanto, palavras e siglas desconhecidas para os leitores.

Os três artigos científicos são relevantes para estudos costeiros/litorâneos no litoral Norte do Rio Grande do Sul, mais especificamente na região das pias do Imbé e Tramandaí, enfocando aspectos morfodinâmicos, geodésicos, geomorfológicos e de gestão costeira.

O artigo 1 teve por objetivo analisar a estabilidade de desembocadura de Lagoa de Tramandai, com base em dados hidrodinâmicos, sedimentológicos e morfológicos integrados numa análise espaço-temporal. Sua publicação em um periódico Qualis CAPES, estrato B2, atesta a qualidade do mesmo.

O artigo 2 tem por objetivo identificar as áreas costeiras suscetíveis à inundação no entorno de desembocadura da Lagoa de Tramandai, oferecendo ferramentas e informações úteis para gestores costeiros. Caracteriza um trabalho com forte tendência às possíveis variações do nível do mar e mudanças climáticas projetadas para um futuro próximo.

O artigo 3 tem por objetivo evidenciar os aspectos positivos e os impactos negativos decorrentes da construção de um molhe na desembocadura do canal lagoar da Lagoa de Tramandai no entorno das praias do Imbé e Tramandai. Neste artigo são relacionadas de um modo geral nos resultados, possíveis impactos positivos e negativos advindos da implementação de estruturas rígidas na zona litorânea, entretanto, nem todos impactos são aplicados para o caso de estudo. Conclui-se neste artigo que provavelmente a zona litorânea do entorno da praia do Imbé estará propensa a efeitos mais erosivos, enquanto que a praia do Tramandai estará propensa a efeitos mais acrescidos.

Finalmente a autora recomenda a articulação e integração de diversas ações para solução e mitigação de prováveis efeitos da construção dos molhes e elevação do nível do mar frente às mudanças climáticas.


Em base ao texto apresentado pela autora e artigos científicos, sou de parecer favorável à aprovação do TCC de Ane Fátima de Silva, cujo conceito final é "Bom".

Assinatura:

Data: 30/8/2019

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>	
Título da Dissertação/Tese:	
<b>“SUBSÍDEOS PARA A GESTÃO COSTEIRA DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DE TRAMANDAÍ”</b>	
Área de Concentração: <b>GEOLOGIA MARINHA</b>	
Autor: <b>Ana Fatima da Silva</b>	
Orientador: <b>Prof. Dr. Elírio Toldo Jr.</b>	
Examinador: <b>Prof. Dr. Felipe Caron</b>	
Data: 30/08/2019	
Conceito: <b>B(Bom)</b>	
<b>PARECER:</b>	
<p>A Tese de Doutorado aqui avaliada apresenta uma importante contribuição ao estudo desembocaduras e peculiarmente na área selecionada, um detalhamento deste sistema no litoral norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. <i>A avaliação da presente Tese foi feita com base em dois aspectos: o da forma e o de conteúdo:</i> Quanto a <i>forma</i>, a Tese se encontra dentro das normas do PPGGEO-UFRGS e conta com uma divisão em 6 itens principais sendo que mais de 70% fazem parte dos itens 2, 3 e 4, do corpo principal do texto apresentado na forma de três artigos científicos. Quanto a forma em geral das figuras, apresentam-se visíveis e com boa resolução e sem deformações, o que se traduz em clareza e boa visualização gráfica dos resultados expressos. Raros casos são de não distinção de elementos científicos obrigatórios. As equações, por exemplo, poderiam estar padronizadas e a apresentação de uma lista de símbolos auxiliaria a leitura do texto. As legendas das figuras são explicativas, sendo raras exceções a falta de informação. O texto esta formatado de modo simples, adequado e ordenado com as figuras. De modo geral quanto ao <i>conteúdo</i> apresentado na Tese, possui rigor científico contendo referências clássicas e atuais que vão de encontro ao assunto abordado. Os objetivos e a problemática são bem apresentados e percebe-se que os resultados e discussões estão em consonância com que é proposto na forma dos três artigos. O artigo 1, já publicado, se traduz em uma boa referência quantos aos aspectos morfodinâmicos da desembocadura da lagoa de Tramandaí principalmente quanto a variação espaço temporal. A cronologia histórica apresentada na forma de registros de fotografias aéreas e imagens orbitais ressaltam os principais aspectos das mudanças morfodinâmicas ocorridos nos últimos 70 anos, mesmo que de forma mais qualitativa. Ressaltam-se os aspectos históricos atrelados as grandes modificações ocorridas durante este período. As conclusões são claras, objetivas e pertinentes. O artigo 2, em processo de publicação, contém resultados de excelente qualidade onde deve ser ressaltado o uso de geotecnologias. Estas trazem ao trabalho figuras de alta definição e precisão. Neste artigo os autores discutem a inundação da zona costeira adjacente a desembocadura, e mesmo usando um modelo “simples,” chegam a resultados importantes. As principais contribuições como avaliador seria melhorar as explicações na discussão sobre a sobreposição das escalas temporais (eventos meteorológicos X taxas de elevação do nível causadas por mudanças climáticas) e mesmo que de forma breve, alertar a dificuldade de aliar dados batimétricos e altimétricos. No entanto o artigo traz informações muito importantes quanto a inundação costeira. Ainda como sugestão, sintetizar alguns pontos de modo a objetivar o texto e principalmente as conclusões. O artigo 3 apresenta uma comparação entre modelagens (física e numérica) já realizadas por outros autores na desembocadura e áreas adjacentes estudadas. Mesmo sendo um artigo que aborda resultados muito pertinentes ao contexto da tese, este merece ser revisado com maiores cuidados. Isso se mostra tanto na descrição do problema quanto nas próprias limitações a serem abordadas na comparação entre os modelos e sua dimensão quanto aos resultados. Será necessário uma reformulação e readequação do tema abordado no artigo. Por fim o trabalho contempla uma tese de Doutorado que colabora com o conhecimento de sistemas deposicionais costeiros, especialmente desembocaduras lagunares e sua morfodinâmica de forma geral. Contando com dados morfológicos e hidrodinâmicos inéditos e de muito boa qualidade, o presente trabalho contribui de modo significativo na compreensão da evolução da morfodinâmica da desembocadura da laguna de Tramandaí.</p>	
Assinatura: 	Data: 30/08/2019
Ciente do Orientador:	
Ciente do Aluno:	

## ANEXO I

**Título:** Subsídios para gestão costeira da desembocadura da Lagoa de Tramandaí

**Área de Concentração:** Geologia Marinha

**Autor:** Ana Fatima Silva

**Orientador:** Elirio Toldo Jr

**Examinador:** Joao Luiz Nicolodi

**Data:** 30/8/2019

**Conceito:** B

O trabalho em questão apresenta-se como relevante à temática em que está inserido, trazendo um importante aporte ao que diz respeito à dinâmica da desembocadura da Lagoa de Tramandaí. Ainda assim, alguns problemas podem ser apontados visando à melhoria de resultados a serem publicados.

A tese está apresentada na forma de artigos. Os dois primeiros artigos são consistentes e demonstram resultados muito bem apropriados e explicados pela autora. Já o terceiro artigo apresenta problemas de ordem metodológica e de discussão dos resultados.

Três tópicos são cruciais nessa avaliação:

1 – Embora o título faça menção à geração de subsídios à gestão costeira, não há um momento do texto onde esses subsídios sejam sistematizados. Eles estão "diluídos ao longo do trabalho", sendo que a pesquisa é muito mais relacionado à dinâmica costeira do que ao gerenciamento e o título passa a ideia oposta. Esse fato é particularmente prejudicial no artigo 3. Além disso, se há a preocupação de estar contextualizado com a gestão costeira, o trabalho carece de uma maior inserção nos Programas, Ações e Projetos existentes atualmente para o trato dessa questão. Um exemplo é a total ausência de referências ao PROCOSTA (ver em <https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/procosta2>, bem como ao Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção a Erosão Costeira ([http://mi.gov.br/documents/3958478/0/Final\\_Guia+de+Diretrizes\\_09112018-compressed.pdf/8b3225f6-1a58-4b03-8098-787302b22f7d](http://mi.gov.br/documents/3958478/0/Final_Guia+de+Diretrizes_09112018-compressed.pdf/8b3225f6-1a58-4b03-8098-787302b22f7d)), trabalho desenvolvido no âmbito do GI-GERCO.

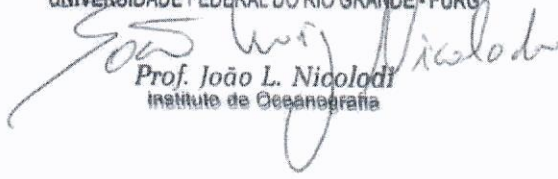
2 – O conceito de “vulnerabilidade” é amplamente utilizado sem uma contextualização e uma conceituação básica. Não há uma metodologia específica aplicada à vulnerabilidade em si. Apenas supõe-se que as áreas potencialmente mais inundáveis são mais vulneráveis.

3 – Na temática sobre Inundação há aplicação do modelo de “banheira” sem uma melhor discussão das limitações desse método. Nesse tópico, sugiro acrescentar o assunto da descontinuidade entre as referências verticais de cota zero existentes no país e que são muito distinta em se tratando de altimetria e batimetria (ALT/BAT). Sugiro ver em: *Klein, A.H.F.; Prado, M.F.V. ; DALINGHAUS, C. ; CAMARGO, J. M. Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costas futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. 252p.*



Atenciosamente;

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG

  
Prof. João L. Nicolodi  
Instituto de Oceanografia